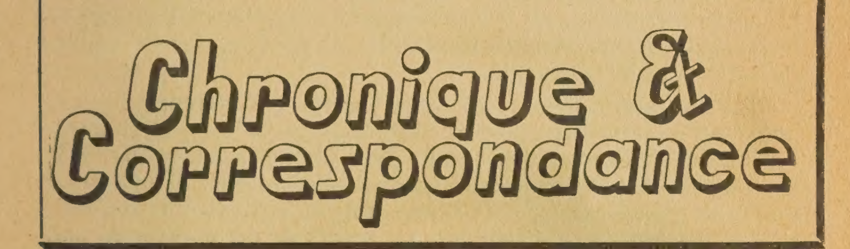
REVUE GENERALE DES SCIENCES
PURES ET APPLIQUEES
ET BULLETIN DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES
TOME LXIII Juillet-Août 1956 N°s 7-8



Maurice FRÉCHET à l'Académie des Sciences

C'est avec une grande joie que les amis, les collègues et les élèves de M. Maurice Fréchet ont appris son élection à l'Académie des Sciences, où il succède à Emile Borel dans la section de Géométrie. Ce choix consacre les mérites d'un savant dont les mathématiciens admirent la richesse d'imagination et la profondeur de pensée.

Pour caractériser en quelques mots sa personnalité scientifique, le mieux est sans doute de rappeler ces deux phrases de Leibniz qu'il cite volontiers lui-même : « Ceux qui aiment à pousser le détail des sciences méprisent les recherches abstraites et générales et ceux qui approfondissent les principes entrent rarement dans les particularités. Pour moi, j'estime également l'un et l'autre, car j'ai trouvé que l'Analyse des principes sert à pousser les inventions particulières. »

L'œuvre de Maurice Fréchet, exceptionnellement vaste puisqu'elle comprend à ce jour plus de trois cents publications, va de l'Analyse générale et de l'Analyse fonctionnelle au Calcul des probabilités et à la Statistique, en passant par l'Analyse classique et la Géométrie. Elle joint le général au particulier, le concret à l'abstrait.

Dès le début de sa carrière scientifique, Maurice Fréchet s'intéresse à la Théorie des ensembles et à l'Analyse générale, c'est-à-dire à cette branche de l'Analyse mathématique dans laquelle on fait abstraction de la nature de la variable et de celle de la fonction. En regardant l'une et l'autre comme points d'un espace abstrait et en étudiant du point de vue géométrique la transformation qui fait passer du point-variable du premier espace au point-fonction du deuxième. Maurice Fréchet crée la théorie des espaces abstraits. Comme il l'écrit lui-même, l'étude de ces espaces « permet de démontrer en une fois de nombreuses propositions concernant les ensembles de nombres, les ensembles de courbes, les ensembles de surface, les ensembles de fonctions holomorphes, les ensembles de séries, les ensembles de groupes, les ensembles de variables aléatoires, etc... »

Si une théorie aussi générale conduit effectivement à des résultats dont la précision et l'intérêt sont entiers, c'est parce qu'elle est fondée sur une notion très géométrique, la *distance*, qui, sans rien perdre de sa vigueur axiomatique, s'applique à une foule de cas. On définit sur un espace abstrait une distance si, à tout couple x, y d'éléments ou points de cet espace, on sait associer un nombre réel (x, y) tel que :

1°) $(x,y) = (y,x) \geqslant 0$
2°) $(x,y) = 0$ si x et y coïncident et seulement dans ce cas
3°) $(x,y) \leqslant (x,z) + (z,y)$ (« *inégalité du triangle* »).

Il est clair que ces trois propriétés justifient le nom de distance donné à ce nombre (x,y) ; elles ont d'ailleurs pris le nom d'*axiomes de la distance*. On peut aussi imposer une condition de compabilité entre cette distance et une définition (posée a priori) de la convergence : ce sera, bien entendu, que la suite $\{x_1,...,x_n,...\}$ tend vers x si

$$\lim_{n \to \infty} (x, x_n) = 0$$

et seulement dans ce cas.

On conçoit que l'étude de ces espaces appelés distanciables ou métriques ait conduit naturellement à la considération de nombreux autres espaces (1), de plus en plus généraux. Parmi ceux-ci, les *espaces topologiques* occupent, dans les mathématiques actuelles, la place la plus importante. On voit pourquoi S. Lefschetz, au début de sa *Topology*, écrit : « les bases de la Topologie reposent sur la Théorie des espaces abstraits fondée par Fréchet ».

De son côté, un physicien comme Louis de Broglie a reconnu dans la Théorie des espaces abstraits un outil fort utile en Phy-

(1) Voir M. Fréchet, *Les Espaces abstraits et leur théorie considérée comme introduction à l'Analyse générale* (Gauthier-Villars, 1928).

sique, notamment dans la Théorie des quanta et la Mécanique ondulatoire.

Elle intervient également en Calcul des Probabilités. Dans cette branche, toujours si vivante, Maurice Fréchet a fondé et développé de nouveaux chapitres, concernant par exemple les systèmes d'événements aléatoires, les probabilités en chaîne, l'étude des éléments aléatoires de nature quelconque. Il a contribué aussi à l'Econométrie et à la Biométrie par des travaux sur la répartition des revenus, les « fonctions de bien-être », l'homme moyen et la caractérisation d'une race, etc. Dans ce domaine et dans celui de la Philosophie des Sciences, Maurice Fréchet a exposé ses idées, pour le grand public, en une suite de conférences réunies dans son livre : « Les Mathématiques et le Concret » (1).

Né en 1878 à Maligny (Yonne), de souche ardéchoise, Maurice Fréchet fût élève de l'Ecole Normale supérieure puis, après un court passage dans l'Enseignement secondaire, maître de conférences ou professeur dans les Universités de Rennes, de Poitiers, de Strasbourg et de Paris. Il a collaboré à de nombreuses publications scientifiques, notamment à l'Encyclopédie française des Sciences mathématiques et à l'Encyclopedia of the Social Sciences. Soucieux d'intensifier les échanges intellectuels et d'aider à surmonter les obstacles que leur opposent les difficultés linguistiques, il s'est joint à Carlo Bourlet et à Aimé Cotton pour diffuser l'Esperanto dans les milieux scientifiques. Quatre mémoires originaux écrits par lui dans cette langue ont été publiés dans des périodiques de nationalités différentes.

Maurice Fréchet fut sept fois lauréat de l'Académie des Sciences avant d'être appelé à siéger dans cette Compagnie. Il est membre titulaire à titre étranger de l'Académie des Sciences de Pologne depuis 1929, et de l'Académie des Sciences de Hollande depuis 1950. Ces quelques indications, malgré leur brièveté, permettront, je l'espère, d'apprécier le rayonnement de ce savant.

Paul DUBREIL.

(1) Presses Universitaires de France, 1955.

NOTRE ENQUETE SUR LE TROISIEME CYCLE

Nous publierons dans notre numéro 9-10, qui paraîtra fin novembre, de très nombreux extraits des réponses reçues.

La 5e Assemblée Générale de l'Union Internationale pour la Protection de la Nature

(Edimbourg 18-29 juin 1956)

L'Union Internationale pour la Protection de la Nature a tenu son cinquième Congrès à Edimbourg, du 18 au 28 juin 1956, sous la présidence du Professeur Roger Heim, Membre de l'Institut, Directeur du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Deux cents délégués de tous les pays du monde (dont 16 pour la France et 4 pour l'U. R. S. S.) se sont penchés sur l'immense programme qui les attendait.

L'Union Internationale pour la Protection de la Nature est, de par ses buts, l'un des organismes internationaux les plus importants. Elle tend à protéger les paysages, la faune et la flore, à étudier les problèmes des insecticides, des engrais, des grands barrages, des feux de brousse, des pollutions de la mer (par le mazout surtout) et de l'atmosphère (par les explosions nucléaires).

Il y aussi un problème n° 1, celui de la surpopulation du Globe provoquée par les progrès de la médecine. La population du monde est d'un peu plus de 2 milliards d'individus, elle sera de 8 milliards dans un siècle... Tout ce monde doit et devra manger. Or, les terres cultivables diminuent régulièrement de surface et les océans n'apporteront jamais beaucoup plus qu'ils ne donent actuellement. Le reste n'est qu'imagination de journalistes en mal de copie sensationnelle, proposant de nourrir l'humanité avec des sandwichs au plankton...

Les délégués de l'Union Internationale pour la Protection de la Nature sont plus sérieux que cela. Comme, de plus, ils savent qu'il est inutile d'essayer de convaincre les adultes, ils abordent, en liaison avec l'UNESCO, les problèmes de l'éducation et de la propagande dans les écoles du monde entier.

Le travail fut réparti en quatre thèmes principaux : aménagement des réserves naturelles, conséquences biologiques de la myxomatose, restauration biologique des zones dévastées par l'homme et conservation des paysages.

La myxomatose répandue en Europe occidentale et en Australie a eu des effets spectaculaires et bénéfiques sur l'évolution de la végétation. Par contre, on ne connaît pas encore très bien le résultat de l'épidémie sur la population d'oiseaux et de mam-

mifères qui se nourrissaient de lapins de garenne. Les renards introduits en Australie commencent à attaquer les moutons. Toutefois personne ne s'est fait l'avocat du Lapin dont la population était excessive et dont l'extinction est tout à fait exclue. C'est un nouvel équilibre qui se crée.

L'étude de l'érosion a été poursuivie, car toutes les statistiques démontrent que le déboisement continu, la dégradation des terres arables par l'agriculure et les feux de brousse, menacent de famine une humanité toujours plus importante. L'emploi abusif de certains engrais et de certains insecticides compromet l'équilibre biologique de régions entières.

L'aménagement rationnel des réserves naturelles et la conservation des paysages nécessitent des études scientifiques très poussées.

Le rôle de l'U.I.P.N. est de plus important, puisqu'elle centralise à son siège de Bruxelles toute la documentation fournie par ses adhérents et qu'elle est en relations constantes avec la F.A.O. et l'U.N.E.S.C.O. Puissance morale (et non financière), elle peut intervenir près des gouvernements et des organismes qui se disposent à mettre en valeur de nouvelles régions, attirant leur attention sur le dangereux problème des ruptures d'équilibre. Ses publications ont déjà obtenu leur effet sur la protection de certaines espèces d'animaux en voie de disparition.

L'Union s'intéresse beaucoup de projets, parmi lesquels nous citerons la protection des Iles Galapagos (Equateur) et l'étude des conséquences de la construction du futur grand barrage d'Assouan.

Le Secrétaire Général, M. Tracy Philipps et la Secrétaire Générale adjointe, Mme Marguerite Caram, ont fait connaître toutes les activités de l'Union. Les problèmes financiers ont été abordés et des vœux ont été émis, qui montrent bien l'immense gamme des soucis. Pour bien mettre l'accent sur son but pratique, l'Union a décidé de modifier son titre pour celui d'*Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources*. Ainsi chacun comprendra mieux qu'il ne s'agit pas seulement de sauver quelques animaux rarissimes, mais bien l'espèce humaine elle-même qui a complètement dégradé la planète, sous prétexte de « mise en valeur ».

Puisse le programme de l'U.I.C.N. être mené à bien.

En dehors des séances de travail, des réceptions et des excursions ont été organisées, qui ont permis aux délégués d'apprécier la légendaire hospitalité écossaise et la beauté des paysages parsemés de lacs.

La prochaine réunion aura lieu en 1958, à Athènes.

Raymond FURON.

Echos & Nouvelles

● *Les maladies du cœur et les corps gras.* — La revue médicale anglaise « The Lancet » rapporte les résultats d'une étude effectuée au Cap, en Afrique du Sud, sur l'influence des corps gras dans l'alimentation sur les maladies coronaires. Cette étude a porté sur trois catégories bien distinctes de la population et sur 364 individus en bonne santé âgés de 40 à 58 ans. Les Bantous, indigènes de race noire, qui sont situés à la partie inférieure de l'échelle sociale, se nourrissent surtout de maïs et mangent fort peu de corps gras : ils n'ont pratiquement jamais de maladies de cœur. Les Blancs, situés au sommet de l'échelle sociale, ont un régime riche en matières grasses : ils ont autant de maladies de cœur que les Européens ou les Américains. Enfin certains métis, situés dans l'échelle sociale entre les Noirs et les Blancs ont un régime alimentaire intermédiaire entre ceux des premiers et des seconds : ils ont un taux moyen de troubles coronaires. Ce sont les Blancs qui ont le taux de cholestérol dans le sang le plus élevé. Certains Noirs qui ont des salaires plus élevés que les autres et qui ajoutent parfois des corps gras à leur nourriture ont autant de cholestérol que des individus d'autres groupes mais de même niveau social.

● *Le fluor et la carie dentaire.* — Aux Etats-Unis 1.123 villes et communes ayant une population totale de vingt-deux millions d'habitants enrichissent les eaux potables en fluorures. A Newburgh, dans l'Etat de New-York, on a étudié pendant une période de dix années l'influence du fluor sur la diminution du nombre de caries dentaires chez les enfants et on est arrivé à la conclusion que la fluoration de l'eau potable protège efficacement la dentition, sans entraîner des inconvénients quelconques. On a comparé les effets obtenus à Newburgh avec ceux d'une localité voisine ne fluorant pas son eau. Les enfants âgés de 6 à 9 ans ont 58 % moins de caries dentaires lorsqu'ils boivent de l'eau fluorée que dans le cas contraire.

● *Découverte d'un nouveau gisement de niobium.* — On a récemment découvert à Araxa, dans l'Etat de Minas Geraes au Brésil, un nouveau et important gisement de pyrochlore (oxyde de niobium et de tantale), minerai de niobium (ou columbium). Les petits cristaux de pyrochlore y sont associés à de la magnetite, du zircon et de la knopite. Les réserves sont évaluées à trois millions de tonnes contenant 1,5 à 2 millions de tonnes de l'oxyde NbO.

(Suite page 232)

LA VOLONTÉ UNITAIRE

par Mme Marie-Antoinette TONNELAT.
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

La seule existence de théories physiques semble relever d'un principe d'unitarité. Le physicien et particulièrement le théoricien, doit évidemment s'attacher à découvrir, selon la terminologie chère à Meyerson, l'identité profonde des phénomènes sous leur apparente diversité.

Toutefois il est certain que la volonté d'unitarité livrée à ses seules ressources ressemble à ces bons sentiments dont on peut faire une très mauvaise littérature. Il est non moins évident que les possibilités des Théories Physiques restent dans une large mesure, imprévisibles, car elles consistent moins dans des coups de pouce donnés au bon moment que dans l'adaptation d'une volonté unitaire à un formalisme qui lui permet d'essayer ses forces sans être cependant complètement à sa mesure. Il faut donc poser la question de l'unitarité dans un domaine déterminé et pour une époque déterminée.

Je l'examinerai ici :

a) dans le domaine des théories de la lumière et de la gravitation ;

b) dans le domaine des relations entre champ et corpuscule.

Je commencerai par un bref historique afin de situer ces importants problèmes et de mieux comprendre comment ils se posent aujourd'hui.

A la fin du XVIIIe siècle, Buffon écrivait déjà « Les Philosophes anciens, plus sages quoique moins instruits que les modernes, n'avaient pas eu la vraie prétention de vouloir expliquer par des causes mécaniques tous les effets de la nature ». Pour sa part, il distingue avec soin les forces d'attraction des manifestations de la lumière, celles-ci consistant en une addition de substances et paraissant toujours capables d'impressionner nos sens.

Il n'est pas impossible, même à l'heure actuelle, de soutenir que ces deux grands chapitres de la Physique n'ont en réalité aucun lien et que les ressemblances qu'on a cru distinguer sont purement forfuites. Une exigence unitaire est facilement totalitaire. Elle ne peut s'enfermer dans le domaine classique et opposer aux exigences des quanta une fin de non recevoir. Les dissensions entre relativité et quanta témoigneraient donc d'une incompatibilité foncière et de l'impossibilité d'une théorie

unitaire globale. « Il ne faut pas unir ce que Dieu lui-même a désuni », affirme Pauli, non sans humour.

Dans le domaine de l'attraction et dans celui de la lumière, la découverte de lois précises et l'introduction d'un formalisme mathématique efficace n'intervient guère avant le début du XVIIIe siècle. Certes, il est facile de déceler auparavant l'utilisation d'images communes, la présence de mots qui laisseraient supposer une sorte de divination. Mais ces filiations sont assez vaines et s'inspirent le plus souvent d'une ressemblance beaucoup plus formelle que réelle.

En fait, jusqu'à la Renaissance et malgré la prolifération des systèmes du monde issus de la théorie des épicycles et de la physique de Ptolémée, les recherches sur les lois et sur les causes de l'attraction sont à peu près inexistantes. Le mouvement parfait des sphères, la Puissance de la volonté divine semblent des motifs suffisants pour dispenser l'attraction de se manifester par des règles plus explicites.

Pendant ce temps, l'optique est gouvernée par des notions beaucoup trop vagues pour soutenir avec succès un principe d'unitarité quelque peu vraisemblable. Tant que la notion de milieu n'est pas complétée par la possibilité de mouvements vibratoires, tant que l'idée de corpuscule n'endosse pas une certaine spécificité pour caractériser la lumière, il est assez artificiel d'en faire un instrument d'explication et a fortiori de synthèse.

La physique cartésienne a constitué la plus ambitieuse de ces tentatives de synthèse. On sait qu'en postulant l'identité entre la matière et l'étendue, Descartes faisait de l'univers tout entier une juxtaposition de milieux subtils matériels. Leur finesse est extrêmement variable mais leur nature reste identique.

Dans cet univers incompressible et plein, le mouvement d'un corps ne peut s'accomplir s'il n'est lié aux déplacements des autres corps. Il existe ainsi des rotations d'ensemble qui prennent naissance en certains points de façon à ne laisser subsister aucun vide : telle est l'origine des tourbillons.

Chaque astre mobile est le centre d'un tourbillon. La genèse et la transformation de ces tourbillons constituent une histoire trop compliquée et malheureusement trop romancée pour nous y arrêter. La gravitation n'est pas une propriété inhérente à la matière. La pesanteur elle-même résulte d'un mouvement compensateur. Comme l'attraction, elle est due au tourbillon primitif qui provoque l'éloignement de la matière subtile et l'approche des particules grossières du second élément afin de combler le vide. D'autre part, ayant interprété pesanteur et gravitation, la cosmogonie cartésienne entraîne aussi une théorie de la lumière. Tout d'abord celle-ci ne saurait être une émission de corpuscules spécifiques. En effet, dans cet univers plein, on ne peut concevoir

la libre et rapide propagation de particules lumineuses. Mais de la tendance qui pousse la matière subtile à s'échapper du soleil et de tous les corps lumineux, résulte une force « comme tremblante » qui se redouble et se relâche par petites secousses. La lumière n'est donc pas un mouvement, mais une tendance au mouvement, une pression qui se transmet d'une façon instantanée.

D'Alembert considérait cette tentative d'explication unitaire comme « la plus belle hypothèse que le génie de l'homme ait conçue ». Pourtant la faiblesse de la physique cartésienne devient évidente dès l'époque de Huygens. Critiquée vivement par Fermat, sa fragilité tient non pas à son caractère mécaniste, mais à sa prétention de vouloir rattacher les lois de l'univers — et en particulier celles qui gouvernent l'optique et la gravitation — à des principes trop vagues pour être l'objet d'un formalisme mathématique précis et de vérifications significatives. Cette physique péchait à la fois par la rigidité de ses principes et par la minutie de ses descriptions. Trop dogmatique et trop qualitative, elle ne pouvait acquérir la souplesse et la puissance qui auraient pu l'imposer. En particulier la synthèse réalisée dans le domaine de la lumière et de la gravitation, tout en possédant l'esprit d'une authentique théorie physique, devait rester sans aucune postérité.

Aux environs de 1670, Newton est encore nettement influencé par les conceptions cartésiennes. La lumière, la cohésion lui semblent dues aux compressions et aux dilatations d'un éther subtil, mû par un mécanisme tourbillonnaire. Enfin, des hypothèses moléculaires, parentes de celles qu'avait proposé Descartes, pourraient expliquer l'attraction.

Les expériences de Hooke sur la variation de la pesanteur semblent orienter Newton sur une autre voie. Pour obtenir une variation notable de la pesanteur avec la distance à la terre, Newton étudie le mouvement de la lune. Il obtient ainsi la loi d'attraction en $\frac{1}{r^2}$. Le développement du calcul infinitésimal, ou « calcul des fluxions » alors lui permet de déterminer les trajectoires des planètes à partir de la donnée des forces d'attraction.

Expérimentalement, le succès de la loi de Newton est complet. Elle réalise dans le domaine de la Mécanique Céleste la plus vaste synthèse qu'on ait jusque là proposée. Pourtant, Newton n'apparaît pas comme un esprit particulièrement avide d'unité. Cette unité apparaît strictement où l'expérience semble la manifester ostensiblement : il faut surtout se garder de forcer l'expérience et même de proposer des interprétations qui ne soient pas strictement nécessaires.

La profonde séparation entre la théorie des actions à distance et la théorie de la lumière, le caractère lui-même hésitant de cette théorie qui n'est pas intégralement une théorie de l'émission, qui est à peine une théorie de l'éther, qui n'est pas du tout une action à distance, exclut d'une façon assez paradoxale l'esprit d'unité de la grande synthèse newtonienne.

Le début du XIXe siècle a vu se développer un ensemble de théories qui, toutes, se proposaient comme modèle la loi newtonienne de la gravitation. Celle-ci était donc à l'origine d'un vaste mouvement de synthèse : on essayait de l'étendre aux phénomènes physico-chimiques, à la capillarité. Boscovitch se proposait même de déduire la nature de l'éther de l'existence de points matériels qui s'attirent mutuellement. Ce n'est plus l'étendue qui semble essentielle, mais l'attraction.

Une tentative plus modeste mais cependant beaucoup plus fructueuse est alors tentée par Coulomb : il étend au cas de deux charges la loi d'attraction en $\frac{1}{r^2}$ qui existait entre deux masses. Il semble tout d'abord que la loi de Coulomb va renforcer la validité de la loi d'attraction et la généralité du principe d'action à distance.

Pourtant son premier effet semble inféoder les actions de gravitation jusque là autonomes, aux actions électriques à distance dont l'étude vient de prendre une grande extension. En effet, on ne peut qu'être frappé de la très grande analogie qui existe, par construction même, entre les lois de Newton et de Coulomb :

$$F = G \frac{m m'}{r^2} \qquad f = \varepsilon \frac{q q'}{r^2}$$

On essaie par exemple, sans y réussir totalement, d'attribuer la force de gravitation à une sorte de compensation des interactions entre charges.

D'autre part, quand les actions électriques à distance seront remplacées par des actions de proche en proche, on essaiera d'appliquer une méthode analogue aux actions de gravitation. La notion d'un champ de gravitation continu va donc s'introduire dans un domaine où la conception de milieu semblait définitivement bannie.

En effet, dans le domaine de l'électrostatique, les travaux de Faraday attirent l'attention sur l'importance du milieu qui n'a plus seulement le rôle passif d'un support. Après la synthèse de Maxwell on parvient à la conception d'un champ électromagnétique continu qui comprend, en particulier, le domaine de la lumière.

D'autre part, on postule aussi l'existence d'un champ de gravitation dont les propriétés semblent tout à fait différentes.

Ces deux champs sont dus à l'existence de sources : corpuscules chargés dans le cas du champ électromagnétique, particules douées de masse en ce qui concerne le champ de gravitation. Le lien entre le champ et ses sources est toujours difficile à préciser. Lorentz réussit pourtant à déduire les lois du champ électromagnétique, et par conséquent des phénomènes lumineux, de l'existence et des propriétés de ses sources : les électrons. On essaie — mais en vain — d'édifier une théorie du champ de gravitation sur le même modèle. Ainsi, jusqu'au début de ce siècle, les explications de la lumière et de la gravitation semblent se côtoyer tout en restant irréductibles l'une à l'autre.

Jusqu'à l'avènement de la Relativité Restreinte cette situation qu'on pouvait trouver regrettable était cependant admissible. Après 1905, on s'est trouvé dans l'obligation non pas, à vrai dire, de construire une théorie unitaire de la lumière et de la gravitation, mais de substituer à la loi de Newton une expression différente dont le modèle devait être déduit des lois de l'optique.

C'est l'optique, en effet, qui sort grand vainqueur du conflit qui vient de l'opposer à la mécanique rationnelle. Ce sont les équations de Maxwell, invariantes dans une transformation de Lorentz et non les équations de Newton inchangées dans une transformation de Galilée qu'on va proposer comme modèle à la jeune physique relativiste.

Par une sorte de balancement dont l'histoire de la physique est coutumière, les théories de l'action à distance qui avaient exercé pendant longtemps une quasi-dictature sur l'ensemble de la physique cèdent leur rôle privilégié à la théorie maxwellienne du champ électromagnétique. Par un renversement des situations, c'est la gravitation qui semblait devoir se modeler sur l'optique.

Cependant, en dépit d'ingénieuses tentatives dues notamment à Henri Poincaré, aucune théorie relativiste de la gravitation ne semblait acceptable. Toutes se heurtaient, en particulier, à l'antagonisme évident qui oppose le caractère conservatif de la charge et la donnée d'une masse essentiellement variable.

Jusqu'en 1917, c'est-à-dire jusqu'à l'achèvement de la Relativité générale, c'est donc non seulement la construction d'une synthèse lumière-gravitation, mais encore l'édification d'une théorie satisfaisante de la gravitation qui se solde par un échec.

En construisant la Relativité générale, Einstein avait proposé une interprétation aussi profonde qu'originale des phénomènes de gravitation. Voici en quelques mots en quoi consiste cette interprétation :

Les critiques d'Einstein montrent tout d'abord qu'il est impossible de distinguer les forces d'inertie des forces de gravitation. Les forces d'inertie se produisent dans un système

accéléré : dans un ascenseur, par exemple, ou bien encore dans un manège de chevaux de bois. Ainsi, dans un ascenseur complètement fermé, la chute d'une balle abandonnée à elle-même peut être attribuée à l'attraction terrestre intervenant dans l'ascenseur immobile, mais tout aussi bien à un certain mouvement accéléré de l'ascenseur et sans aucune intervention de forces d'attraction.

D'autre part Einstein montre que toutes les mesures de distance effectuées dans un système accéléré, par exemple à bord d'un manège en rotation, manifestent une modification de notre géométrie habituelle. Bien entendu, si nous savons déjà que le manège tourne, nous pouvons attribuer cette modification à son mouvement. Mais si nous l'ignorons, si le manège est complètement fermé, nous pouvons tout aussi bien penser qu'il est strictement immobile mais qu'à son bord la « vraie » géométrie n'est pas notre géométrie euclidienne habituelle. Autrement dit, on peut toujours remplacer les forces d'inertie que crée un mouvement accéléré par une modification de la géométrie. En rapprochant les deux conclusions ainsi obtenues, nous pouvons donc affirmer l'équivalence :

d'une part, entre les forces de gravitation et les forces d'inertie ;

d'autre part, entre les forces d'inertie et l'existence d'un univers non euclidien.

Un syllogisme simple nous conduit ainsi à supposer une équivalence entre les forces de gravitation et l'existence d'un univers non euclidien.

Cet univers non euclidien est assez particulier. C'est un espace de Riemann que caractérise sa courbure.

Que devenait alors l'optique et, plus généralement l'électromagnétisme maxwellien ?

Il faut avouer qu'une interprétation géométrique des phénomènes de gravitation les isolait profondément du reste de la physique, de l'électromagnétisme en particulier. Il se creuse ainsi un fossé très profond autour des phénomènes de gravitation qui confère à ces derniers un caractère privilégié assez extraordinaire. A moins de souscrire à ce privilège, la construction de théories unitaires devient alors non seulement souhaitable mais nécessaire.

Deux voies s'ouvrent alors pour une possibilité de synthèse entre lumière et gravitation.

Tout en conservant la forme relativiste de la loi d'Einstein, on enlèvera le caractère privilégié et géométrique de son interprétation. On supposera donc qu'elle ne représente pas des conditions imposées à la structure d'un univers non euclidien,

mais que, toute interprétation mise à part, elle est valable dans l'espace euclidien habituel. Le grand inconvénient de ce procédé est de supprimer l'hypothèse simple et intuitive qui, précisément, justifie la loi d'Einstein. Il ne reste plus que la carcasse vide d'un formalisme compliqué qui n'a pas le soutien, l'unité d'intention que lui conféraient les hypothèses géométriques (1).

Pour tenter d'interpréter ce formalisme sans contenu, on peut essayer alors de recourir aux hypothèses corpusculaires que proposent les théories quantiques. Les phénomènes de gravitation relèveront alors d'un mécanisme corpusculaire sous-jacent :

On admet déjà que le champ électromagnétique peut être produit par les très nombreuses transitions qui font passer un certain corpuscule, le photon, d'un état que je qualifierai de normal à un état très particulier d'annihilation (2). Ces transitions s'effectuent au contact de la matière.

D'une manière tout à fait analogue, on peut admettre que l'annihilation d'un autre corpuscule, le graviton, produit le champ de gravitation. Ainsi, la parenté entre lumière et gravitation tient à leur origine même et à leur mode de production. Leur différence provient de la structure même des corpuscules générateurs : photon ou graviton.

On peut montrer en effet que photon et graviton correspondent à deux des états de spin que possède une particule de spin maximum 2. Celle-ci est susceptible de plusieurs états de rotation propre dont l'un (spin 2) correspond à la production du champ de gravitation et dont l'autre (spin 1) à celle du champ électromagnétique. Précisons le comportement d'une telle particule : au contact de la matière, elle est susceptible de certains processus d'émission et d'absorption qui la font passer, par des transitions brusques, d'un état à un autre. Ces transitions sont la source des champs. Si la particule est dans un certain état de rotation propre, ce champ sera un champ de gravitation. Si elle se trouve dans un autre état caractérisé, en l'occurrence, par un mouvement de rotation propre deux fois plus petit, le champ produit sera un champ électromagnétique maxwellien.

De plus, on peut expliquer l'interaction entre deux particules douées de masse comme on interprète, en théorie du photon, l'interaction entre deux particules électrisées : par un processus d'émission et d'absorption, le photon était l'intermédiaire qui assurait l'interaction entre deux électrons. Statistiquement, ce mécanisme conduisait à la loi de Coulomb. D'une manière analogue le graviton émis par l'une des particules, absorbé par l'autre, établit entre elles un lien d'un genre diffé-

(1) Cf. Rosen, Birkhoff, Belinfante.
(2) Cf. Louis de Broglie.

rent. Statistiquement, cette interprétation conduit à la loi de Newton. Le photon-graviton explique alors complètement les actions à distance et se substitue à l'éther des anciennes thoéries. Ainsi se résoudrait la symétrie entre les équations de Coulomb et de Newton, symétrie qui a confirmé bien des esprits dans la parenté que devraient présenter électromagnétisme et gravitation.

Présentée ainsi, l'interprétation corpusculaire de la gravitation paraît assez simple. En réalité elle se révèle très délicate.

Tout d'abord il ne semble pas possible de considérer les interprétations géométrique et corpusculaire de l'électromagnétisme et de la gravitation comme deux descriptions simultanément valables, mais réalisées simplement à des échelles différentes. S'il en était ainsi les transitions corpusculaires de l'échelle microscopique engendreraient finalement la courbure macroscopique de l'espace-temps. Une telle relation de cause à effet ne semble pas vraisemblable. Il faut donc admettre que les descriptions corpusculaires et géométriques se correspondent comme deux cartes possibles mais que, physiquement, elles s'excluent. Il est assez curieux de rapprocher ces résultats de certaines conclusions d'Eddington obtenues par des considérations très différentes.

« Les propriétés mécaniques de la matière sont habituellement représentées par la courbure de l'espace-temps ; mais, si nous préférons, nous pouvons résoudre celle-ci en particules et représenter les propriétés mécaniques par des fonctions d'onde. Les énergies et les pressions décrites par fonctions d'onde doivent être enlevées à la courbure. Ainsi une représentation ondulatoire complète consisterait en fonctions d'onde dans un espace-temps euclidien. » Nous pourrions encore rappeler ici l'opinion de Milne sur la corrélation entre le phénomène physique et l'espace dans lequel il est représenté : on peut compliquer le phénomène en simplifiant l'espace et inversement.

Pour des raisons multiples les théories corpusculaires ne parviennent donc pas à être tout à fait satisfaisantes. Aussi la plupart des synthèses entre lumière et gravitation s'effectuent dans une seconde direction : elles consistent à prolonger les perspectives géométriques qui font la beauté et l'unité de la théorie d'Einstein. La Relativité générale assimilait la loi de gravitation aux conditions de structure que devait satisfaire un espace non euclidien particulier. Les théories unitaires vont essayer d'étendre à la lumière cette interprétation géométrique qui a si bien réussi dans le cas de la gravitation.

Les mérites de ce genre de théorie et plus particulièrement de la théorie d'Einstein ne sont pas minces : les lois de l'électromagnétisme et de la gravitation se résolvent dans les conditions de structure d'un univers non euclidien, dans une géométrisa-

tion généralisée. Ainsi se constitue une vaste interprétation par figure et mouvement, mais dont la forme est aussi précise qu'est intuitif et simple son principe. Ainsi la notion de force est absorbée complètement dans la géométrie de cet univers : non seulement la force de gravitation mais encore la force qui intervient entre particules chargées et que les physiciens appellent force de Lorentz.

La matière elle-même, c'est-à-dire les masses et les charges doit être absorbée par la géométrie. En effet, si les espoirs d'Einstein se trouvent vérifiés, la réalité première est le champ, champ de gravitation, champ électromagnétique, mais en tous cas milieu continu. Les charges et les masses sont des réalités secondes, déduites du champ, lui-même issu de la géométrie.

C'est une telle conception unitaire qui a peut-être séduit l'opinion : une sorte de clef universelle, de formule magique, en laquelle réside l'unité et l'explication du monde.

Bien entendu les choses n'en sont pas là et ces objectifs, loin d'être tous réalisés, ne sont peut-être pas tous réalisables.

La Relativité générale faisait des lois de la gravitation les conditions de structure d'un espace non euclidien, mais d'un espace non euclidien assez particulier.

L'univers de la Relativité générale est un univers riemannien à quatre dimensions. Il est pourvu d'une seule courbure (courbure de rotation). C'est un univers relativement simple puisque la connaissance de la distance entre deux points infiniment voisins permet de déterminer complètement sa structure et sa courbure en particulier. C'est précisément une condition imposée à cette courbure qui constitue la loi de la gravitation.

Pour construire une théorie unitaire géométrique, il nous faut maintenant trouver des conditions supplémentaires pour que l'ensemble représente non seulement les équations de la gravitation mais encore les équations électromagnétiques de Maxwell. Ce résultat peut être poursuivi dans deux directions.

Sans modifier la structure même de l'univers on peut augmenter le nombre de ses dimensions et considérer, par exemple, un univers à 5 dimensions. Cette voie inaugurée par Kaluza (1921) a été reprise par Einstein dans sa deuxième théorie unitaire (théorie d'Einstein-Mayer). Les théories projectives comme celles de Shouten, de Pauli peuvent s'y rattacher. Notons encore les récentes théories à 15 variables de champ (Jordan, Thiry). Comme le fait remarquer Einstein, ces théories constituent des théories unitaires au sens fort car électromagnétisme et gravitation y sont représentés par les composantes d'un même être géométrique. Il s'agit là d'une synthèse analogue à celle qu'a réalisée la Relativité Restreinte pour les champs électriques et magnétiques.

On peut, au contraire, conserver l'univers quadridimensionnel de la Relativité Générale mais compliquer sa structure : on introduit alors non pas simplement un espace de Riemann mais une variété à connexion affine quelconque. Cela revient à généraliser les hypothèses qui définissent le transport parallèle d'un vecteur le long d'un contour fermé infiniment petit : soit, en supposant, avec Weyl (1919), que le transport parallèle d'un vecteur modifie non seulement sa direction comme dans la géométrie de Riemann, mais encore sa longueur. Cette variation de longueur est due à l'existence d'une courbure de seconde espèce appelée encore courbure segmentaire ou courbure d'homothétie. Analytiquement, on est amené à envisager, à côté des changements de coordonnées et indépendamment de ces derniers, des transformations de jauge. L'ensemble est nécessaire pour déterminer complètement la structure de l'univers et pour aboutir aux équations du champ électromagnétique et du champ de gravitation.

Soit en supposant que le déplacement parallèle d'un vecteur, tout en modifiant seulement sa direction comme dans la géométrie de Riemann, est dû non seulement à la courbure mais encore à l'existence d'une torsion. Les espaces tordus, introduits par Elie Cartan, ont été utilisés par Eyraud (1926) pour l'édification de théories unitaires, puis par Infeld (1928), enfin par Einstein qui essaya de construire une théorie unitaire en supposant l'existence d'un parallélisme absolu, c'est-à-dire d'un espace doué de torsion mais dépourvu complètement de courbure : les conditions imposées à la torsion de l'univers devaient suffire à rendre compte des propriétés du champ électromagnétique (équations de Maxwell) et du champ de gravitation (équation d'Einstein).

Bien entendu, on peut utiliser simultanément toutes les complications que nous venons d'indiquer et supposer que l'univers est doué, *a priori*, d'une torsion et de deux sortes de courbures. Il constitue alors une variété à connexion affine quelconque et c'est dans ce cadre très général qu'Einstein a proposé sa dernière théorie unitaire qui est encore, si j'ose dire, en cours d'exploitation. Dans tous les cas le champ électromagnétique et le champ de gravitation demeurent, dans ces théories, des êtres géométriques indépendants, liés seulement par les équations auxquelles ils obéissent.

Cette prolifération de théories unitaires peut conduire un public non averti à un certain scepticisme.

« Il existe mille façons d'édifier les lois de la tribu et chacune d'elles est la bonne », écrit par exemple Eddington.

Effectivement, nous pensons tout naturellement que des arguments décisifs en faveur d'une de ces théories devraient entraîner une adhésion en sa faveur et une désaffection évidente pour ses rivales.

C'est mal connaître la physique et ses ressorts psychologiques qui ne sont pas si simples.

La Physique doit aller de l'avant. Elle doit aussi expliquer. Il existe quelquefois un divorce entre ces deux objectifs.

Les théories unitaires géométriques présentent en effet des qualités très diverses :

Les théories à 5 ou 6 dimensions jouent parmi les théories unitaires un rôle très particulier. Elles font intervenir une variété auxiliaire qui ne se confond pas avec l'espace physique. L'univers à 5 dimensions semble donc fournir un langage commode, ce qui est très légitime. Mais, ce qui l'est beaucoup moins, c'est d'attribuer à ce langage un caractère explicatif satisfaisant : la théorie aurait un sens physique dans un espace qui, lui, n'en possèderait aucun. Cependant le mérite de ces théories, en particulier les résultats obtenus par la récente théorie de Jordan-Thiry, théorie à 15 variables de champ, valent aux synthèses pentadimensionnelles de nombreuses sympathies.

D'autre part, parmi les théories quadridimensionnelles, la dernière théorie d'Einstein surpasse les précédentes par son naturel et par son envergure. Les résultats acquis laissent son interprétation assez mystérieuse et il nous est difficile de porter un jugement définitif sur un développement qui englobe en partie les tentatives qui l'ont précédé.

A l'heure actuelle, il semble donc bien que l'électromagnétisme classique est susceptible d'une représentation géométrique satisfaisante. On touche ainsi au plus grand succès que pouvait rêver la volonté d'unitarité. « C'est l'orgueil cartésien, écrit M. Poirier, que de refaire le monde suivant les lois de l'esprit de Dieu et sa géométrie, et que ce monde soit le vrai. Par quoi il affirme sur la réalité une emprise intellectuelle qui est presque l'égale de l'emprise matérielle... L'homme repense le monde suivant les mêmes apparences et les mêmes lois que Dieu. C'est là une grande audace qui survit cependant en chacun de nous, au moins obscurément. » On ne peut que rappeler ici la curiosité très spectaculaire qui a entouré il y a 4 ou 5 ans la diffusion ou plutôt la révélation de la dernière théorie unitaire d'Einstein. Le grand public (ou ce qu'il est convenu d'appeler ainsi) accueille avec une faveur presque égale la pierre philosophale qui assure la domination du monde ou la formule magique qui en livre le secret.

Le développement des théories quantiques ne permet pas malheureusement de rester sur une note aussi optimiste :

L'histoire de la physique aboutit en effet d'une part aux conceptions ingénieuses mais trop souvent phénoménologiques qui président aux actuelles théories quantiques du champ électromagnétique et du champ nucléaire ; d'autre part, elle conduit

aussi aux théories déductives, issues d'un principe géométrique dont le modèle est l'interprétation du champ de gravitation.

Les théories quantiques ont réussi à se rallier de très près à l'expérience et le succès d'une théorie dépend d'abord de ses possibilités de prévision et ensuite de sa valeur de synthèse. Il n'est pas douteux néanmoins qu'une possibilité de prévision est peu de chose si elle doit s'obtenir à l'aide de « coups de pouce » successifs et perdre de vue la notion même d'explication : la théorie devient alors une simple formulation d'une série — souvent très limitée — d'expériences. On peut donc espérer que les théories classiques déductives parviendront à des précisions neuves, que les théories quantiques réussiront à établir une coordination plus serrée de leurs conceptions.

Il est difficile toutefois de préciser qu'elle pourrait être la marche d'approche. On peut même se demander si une solution du problème ne serait pas dans la jonction des deux problèmes unitaires essentiels de la Physique :

le problème unitaire gravitation-électromagnétisme dont j'ai parlé jusqu'à présent ;

le problème unitaire champ-corpuscules dont je voudrais dire maintenant quelques mots.

Le lien entre le champ et ses sources a été et reste l'un des plus difficiles problèmes que doit résoudre l'électrodynamique aussi bien dans le domaine classique que dans le domaine quantique. En simplifiant la question à l'extrême, on peut dire que l'idée de source ponctuelle se heurte aux difficultés bien connues d'énergie propre infinie, mais que la notion de source étendue contrevient aux exigences relativistes et s'accompagne d'hypothèses très souvent arbitraires. Parmi les très nombreuses théories qu'on a bâties sur ce sujet, on peut distinguer des théories dualistes ou, au contraire non dualistes.

Les premières supposent que les particules, sources du champ, constituent des entités qui restent, avec leurs diverses caractéristiques, complètement hétérogènes à celui-ci. Dans cet ordre d'idée on peut citer par exemple les travaux de Bopp, de Stuckelberg qui évitent les difficultés d'énergie infinie en faisant intervenir deux champs compensateurs. Des théories basées sur des principes assez différents sont dues à Dirac, à Wentzel, à Riesz, à Mac Manus et enfin à Dyson, Wheeler, Schwingen et Feynman.

Au contraire les théories non dualistes supposent que les sources du champ n'ont pas une nature différente de celui-ci.

Pour éviter les hypothèses de structure des anciennes théories de l'électron (Lorentz, Bucherer, Abraham) inaptes à une formulation relativiste, on est amené à construire des théo-

ries faisant intervenir des temps multiples (Peierls et Mac Manus) ou bien des théories non linéaires (Born-Infeld). Les unes et les autres s'avèrent d'ailleurs rebelles aux procédés de quantification.

La théorie de Born est basée sur l'existence de relations non linéaires entre le champ et l'induction électromagnétique (au lieu de relations linéaires maxwelliennes $D = \varepsilon E$, $B = \mu H$). Il en résulte qu'on peut définir un champ électromagnétique fini en tout point même à l'origine. Au lieu du champ maxwellien électrostatique

$$E_r = \frac{e}{r^2} \rightarrow \infty \text{ quand } r \rightarrow o$$

on aura un champ

$$E_r = \frac{e}{r_0^2\sqrt{1 + \left(\frac{r}{r_0}\right)^4}} \rightarrow \frac{e}{r_0^2} \quad \text{quand } r \rightarrow o$$

On peut alors définir des grandeurs qui sont spécifiques de la particule (charge et éventuellement masse) en fonction des grandeurs caractéristiques du champ. On définira ainsi des libres densités de charge, de courant, de masse entièrement réductibles aux grandeurs de champ.

Cette assimilation est possible dans la mesure où le champ électrique — caractérisant la densité de charge — reste fini à l'origine. Enfin cette propriété résulte elle-même de la non-linéarité des équations de la théorie.

Bien entendu la théorie de Born est une théorie purement électromagnétique et purement euclidienne. Elle n'a aucun rapport direct avec la construction de théories unitaires.

Toutefois il existe une propriété commune qui caractérise l'électrodynamique de Born et les théories de la gravitation : c'est la non-linéarité. Or, d'après les résultats de la Relativité Générale cette non-linéarité qui caractérise les théories de gravitation est aussi la clef qui donne accès à une théorie du champ pur, c'est-à-dire à une théorie où l'idée de corpuscule se réduit entièrement à celle de champ.

En voici la raison : l'électrodynamique classique repose sur la donnée des équations de Maxwell, équations aux dérivées partielles du premier ordre. On dit qu'il s'agit d'équations linéaires. En raison de cette linéarité, la somme (ou la différence) de deux solutions des équations du champ est encore une solution des équations du champ. Il en résulte la conséquence suivante que je présente volontairement d'une manière quelque peu simplifiée.

Considérons deux particules chargées qui créent indépendamment l'une de l'autre deux champs électromagnétiques, solutions des équations de Maxwell. Le champ résultant de la superposition de ces deux champs élémentaires satisfait encore aux équations de Maxwell.

Par conséquent si nous imaginons la situation créée par l'ensemble de ces deux particules, il est impossible à l'aide des seules équations de Maxwell de trouver une condition supplémentaire pour caractériser l'interaction de ces deux particules, c'est-à-dire la loi de Coulomb. Pour cela, il faudrait en effet que l'ensemble du champ formé par les deux particules soit une solution des équations de Maxwell si, et seulement si, une telle condition était remplie. Cette condition, cette compatibilité imposée aux équations mêmes du champ constituerait précisément les équations du mouvement. Or, dans une théorie linéaire, une telle condition n'est pas nécessaire puisque la somme des champs partiels est toujours une solution convenable.

Cette conclusion supplémentaire, nous ne pourons donc pas la tirer des équations du champ. Il faudra la poser indépendamment : ce sera l'expression de la force de Lorentz

Equations du champ	*Equations du mouvement*
Equations de Maxwell	Force de Lorentz Mouvement des particules chargées (en particulier loi de Coulomb).

Au contraire, si les équations du champ étaient non linéaires, la superposition de deux champs séparément, solutions, ne satisferait plus les équations fondamentales. Le champ global de deux particules ne pourra donc être acceptable que si certaines conditions de comptabilité sont assurées : elles définissent effectivement les équations du mouvement des particules. Le mouvement de n particules est bien déterminé par les équations mêmes du champ : c'est celui qui permet la compatibilité des équations fondamentales.

Or, les équations de la gravitation que propose Einstein ne sont pas linéaires. Le premier membre $S_{\mu\nu}$ est fonction des dérivées secondes du potentiel de gravitation $g_{\rho\sigma}$ et des produits des dérivées premières

$$S_{\mu\nu}\,(\partial^2_\lambda g_{\rho\sigma},\ \ \partial_\lambda g_{\rho\sigma}\,\partial_\tau g_{\alpha\beta})$$

Le second membre $T_{\mu\nu}$ représente l'apport de la matière qui crée le champ de gravitation. Il sera donc possible de tirer les équations du mouvement, c'est-à-dire en première approximation la loi de Newton de la loi du champ de gravitation.

Equations du champ	*Equations du mouvement*
$S_{\mu\nu} = \chi T_{\mu\nu} \rightarrow$	Mouvement des particules douées de masse (en particulier loi de Newton).

Ainsi en ce qui concerne le champ de gravitation la théorie de la relativité est une théorie du champ pur : le mouvement des particules est inféodé à l'existence d'un champ de gravitation non linéaire.

Dans les ultimes tentatives d'Einstein le corpuscule s'intégrerait à la structure même du champ. « Nous pourrions regarder la matière comme constituée par des régions de l'espace où le champ est extrêmement intense... Une pierre lancée est, de ce point de vue, un champ qui varie, champ où les états de plus grande intensité se déplacent avec la vitesse de la pierre. Il n'y aurait pas de place dans cette nouvelle physique à la fois pour le champ et pour la matière, car le champ y serait la seule réalité. »

Effectivement, Einstein essaie de tirer l'apport de la matière (le deuxième membre $T_{\mu\nu}$ des équations du champ) de la contribution purement géométrique (au $S_{\mu\nu}$ du premier membre) d'un champ généralisé. Il s'agit d'une sorte d'esthétique de l'unitaire et de l'intelligible, l'un et l'autre confondus. Cette équation, dit-il, ressemble à un édifice dont une aile (le premier membre) serait bâtie en marbre fin tandis que l'autre (le second membre) serait en bois de qualité inférieure.

Il semble donc qu'une théorie unitaire ne peut acquérir en physique une sorte de cohérence interne que si elle est doublement unitaire en assurant la synthèse :

1°) du champ électromagnétique et du champ de gravitation, de façon à englober l'électrodynamique classique ;

2°) du champ généralisé ainsi défini et des particules, le mouvement de celles-ci se déduisant des propriétés de celui-là.

« Une théorie cohérente du champ, écrit Einstein, exige que tous les éléments qui y figurent soient continus... De là vient que la particule matérielle n'a pas de place comme concept fondamental dans une théorie du champ. Ainsi, même indépendamment du fait que la gravitation n'y est pas incluse, la théorie de Maxwell ne peut être considérée comme une théorie complète. »

Cette recherche d'une unité au moyen des théories du champ ne manifeste pas l'attachement d'Einstein à une forme de théorie bien déterminée. Elle ne s'explique pas en invoquant une « adhésion rigide à la théorie classique » selon l'accusation de Bohr et de Pauli. « En effet, demande Einstein, qu'est donc la théorie classique ? Celle de Newton introduisait des forces qui

ont fait place à la théorie du champ continu de Hertz et de Maxwell, théorie qui fut aussi, mais autrement, classique. La relativité générale nous propose encore une version différente qui achemine sans tout à fait y séussir à une théorie du champ pur. Néanmoins, ajoute Einstein, la théorie classique existe, mais « elle existe comme un programme ». Elle n'apporte aucun argument décisif à celui qui doute de la notion même de continu. « Ce doute est très honorable, mais où chercher une autre voie ? »

La géométrie, ou plutôt la théorie physique considérée dans son ensemble en lui incorporant la géométrie qu'elle suppose, est-elle une construction vérifiable ? Est-elle vraie ? Je répondrai, dit Einstein, par la célèbre question de Pilate : « Qu'est-ce que la vérité ? »

La vitalité même de l'exigence unitaire lui fait évidemment chercher sa réalisation dans le climat particulier que lui offre chaque époque. Mais un principe unitaire n'est rien si on le sépare de sa forme, c'est-à-dire des structures mathématiques qui lui servent de soutien et de guide. L'échec de la physique cartésienne en est un témoignage. Sans affirmer, avec Huxley, que la philosophie de Platon exprimée avec les mots de choix de l'abbé Brémond n'est plus la philosophie de Platon, on pourrait craindre que les théories unitaires exprimées avec les mots de choix de trop de vulgarisateurs, n'aboutissent à un mauvais Descartes.

Le formalisme guide et parfois devance le principe qui a suscité son application, comme les mots et le rythme soutiennent et infléchissent l'inspiration poétique.

M. Bayet a parlé de l'envoûtement de la philosophie par les arts. Peut-être pourrait-on parler d'un envoûtement de la Physique par les Mathématiques ? Il semble bien que le formalisme des théories unitaires géométriques pourrait servir d'introduction à cette double mais difficile synthèse.

Cette conférence consacrée à l'exigence unitaire ne pouvait manquer de faire une large place aux théories d'Einstein. Mais je ne peux pas la terminer — à cette date qui marque approximativement le premier anniversaire de la mort d'Einstein (18 avril 1955) — sans insister tout particulièrement sur l'exigence unitaire de cette œuvre.

Elle ne constitue pas une série de réformes éparses qu'animerait une commune inspiration : ses théories s'imbriquent si bien les unes dans les autres, elles ont une telle exigence les une des autres qu'on peut parler de « la Théorie d'Einstein » ; l'hypothèse des photons est liée aux Principes de la Relativité Restreinte. Celle-ci aboutit inévitablement aux conceptions de la Relativité générale qui, à son tour, s'oriente vers les hypothèses

du champ unifié et vers les tous derniers espoirs : la réduction de la matière au champ généralisé.

On peut soutenir que les discussions d'Einstein avec Bohr ont été motivées par une incoercible exigence d'unitarité.

Si le but essentiel de la physique était la formulation de données expérimentales et la simplification, au sens de Mach, de leur expression ; si nous sacrifions à ce but — en niant même le sacrifice — l'espoir d'une synthèse totale de notre expérience et le prolongement des constructions macroscopiques, il est évident que nous devrions suivre les principes de Bohr.

Mais si le but essentiel de la physique est une synthèse totale et intelligible, nous ne pourrons la réduire à une formulation fragmentaire et séparée qui nous conduit simplement à un domaine de prévision. Nous dirons qu'une théorie microscopique de l'individuel n'existe sans doute pas, ou du moins pas encore, et nous serons disciples d'Einstein.

Cette attitude sans doute cohérente, mais partiale, résulte d'un choix. Ses mobiles relèvent d'une exigence morale ou avouons-le, métaphysique. Certes, tous les physiciens croient — au moins implicitement — à l'efficacité et aussi à l'intelligibilité de la science ; mais Einstein lui demandait beaucoup : elle portait tout le poids d'une réalité objective unitaire et, inextricablement mêlée à celle-ci, la justification d'une intelligence humaine ordonnatrice.

Plus que tout autre, Einstein semble avoir connu ces deux pôles entre lesquels oscillent toujours les préoccupations du physicien : d'une part le rôle de la mesure, les contradictions liées à l'idée d'observation, les difficultés issues de la seule existence des masses et des charges, les problèmes que soulèvent les théories quantiques. D'autre part l'unification que justifie tant de succès, l'apport de l'intelligence « progessus ordinans », comme la qualifiait Brunschwicg, s'apercevant elle-même au cours de son travail de synthèse. Plus que tout autre Einstein semble avoir tenu les deux extrémités de cette chaîne unitaire que personne n'a l'espoir de contempler dans sa totalité.

Marie-Antoinette TONNELAT.

Les livres reçus

BINET (Léon). — Secrets de la vie des animaux. Essai de Physiologie comparée (Coll. « La Science vivante », Presses Universitaires, Paris). 700 fr.

BROGLIE (Louis de). — Nouvelles perspectives en Microphysique (Coll. « Science d'aujourd'hui », Albin Michel, Paris). 780 fr.

BROGLIE (Louis de). — Une tentative d'interprétation causale et non linéaire de la mécanique ondulatoire (Gauthier-Villars, Paris). 3.500 fr.

CARSON (John R.). — Electric Circuit Theory and operational Calculus (Chelsea Publishing C°, New York). $ 1.88.

CAMPBELL (Robert). — La Trigonométrie (Coll. « Que sais-je ? », Presses Universitaires, Paris).

DERRUAU (M.). — Précis de Géomorphologie (Masson, Paris). 3.200 fr.

DESTOUCHES (Jean-Louis). — La Mécanique des Solides (Coll. « Que sais-je ? », Presses Universitaires, Paris).

CORNUBERT (R.). — Dictionnaire chimique allemand-français (Dunod, Paris). 1.660 fr.

DINGEMANS (Guy). — Formation et Transformation des Espèces (Armand Colin, Paris).

FLUGGE (S.). — Handbuch der Physik (Springer Verlag, Berlin).

Band XXIV : Grundlagen der Optik - Fundamentals of Optics. 132 DM.

Band XIX : Elektrische Leitungsphänomene I - Electrical Conductivity I. 65,60 DM.

Band XXXVI : Atome II. 70,40 DM.

GUEBEN (Georges). — Phénomènes radioactifs et introduction à la Physique nucléaire (Desoer, Liége, et Dunod, Paris). 4.200 fr.

GUINIER (A.). — Théorie et technique de la Radiocristallographie (Dunod, Paris). 9.500 fr. relié toile.

HIRSH (Ira J.). — La Mesure de l'Audition (Bibl. Scientifique internationale, Presses Universitaires, Paris). 2.000 fr.

MARCHAL (R.). — La Thermodynamique et le théorème de l'énergie utilisable (Dunod, Paris). 1.580 fr.

Mc VITTIE (G. C.). — General Relativity and Cosmology (Chapman et Hall, Londres). 42 s.

PASCAL (Blaise). — Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air (reproduction de l'édition de 1819) (Gauthier-Villars, Paris).

PAULING (Linius). — Chimie Générale. Introduction à la chimie descriptive et à la chimie théorique moderne (Dunod, Paris). 2 900 fr. broché ; 3 200 fr. relié.

TOUCHAIS (M.). — Les applications techniques de la Logique (Dunod, Paris). 940 fr.

VAN LAETHEM (Marcel). — Une méthode nouvelle et générale de calcul des intégrales généralisées (Ed. Nauwelaerts, Louvain, et Béatrice Nauwelaerts, Paris). 2.100 fr.

VI° Congrès de Mathématiques appliquées : Numerical Analysis (Mc Graw Hill Book C°, Londres). 73 s.

Famous Problems and other Monographs (Chelsea Publishing C°, New York). $ 3,25 relié.

Les dangers des radiations ionisantes et les moyens de s'en protéger

par J. F. DUPLAN,

Laboratoire Pasteur de l'Institut du Radium (1)

La protection contre les radiations ionisantes n'est plus comme il y a 20 ans un problème dont seuls quelques laboratoires spécialisés ou les services de radio et de radiumthérapie ont à se soucier. La généralisation de l'emploi des radio-éléments artificiels dans toutes les branches de la recherche scientifique et de l'industrie, fait que les risques de surexposition aux rayonnements ne sont plus courus seulement par des spécialistes avertis mais par des travailleurs moins prévenus qui peuvent soit les surestimer, soit les sous-estimer. Mais c'est là un aspect encore trop limitatif de cette question ; à une époque où l'énergie fournie par les réacteurs nucléaires est appelée à compléter les sources énergétiques classiques, c'est un souci légitime que de vouloir connaître les caractères des rayonnements nucléaires, leurs effets sur l'organisme ainsi que les méthodes qui permettent de les détecter et de se soustraire à leur action.

Généralités

Avant d'aborder les parties de cet exposé qui traitent de la radiobiologie et de la radioprotection, il est nécessaire de rappeler brièvement les caractères physiques des radiations ionisantes ainsi que les unités qui servent à les mesurer.

A. — Les radiations ionisantes. Sous le vocable de radiations ionisantes, on groupe d'une part les rayonnements électromagnétiques (rayons X ou γ) dont la longueur d'onde est inférieure à celle des U.V. et, d'autre part, des rayonnements corpusculaires. Au point de vue biologique ces différents types de radiations ont comme propriété commune d'être absorbés dans les tissus en arrachant des électrons périphériques aux atomes. Ces ionisations initient la chaîne des réactions physico-chimiques qui aboutissent aux radiolésions.

---

(1) Cours-Conférence prononcé le 6 mars 1956 au Centre de Perfectionnement technique, 28, rue Saint-Dominique, Paris (7e).

I) *Radiations électromagnétiques.* Ce sont les rayons X ou γ, les premiers artificiellement obtenus et les seconds émis naturellement par les radio-éléments. Ils sont ionisants indirectement par l'intermédiaire des électrons qu'ils arrachent aux atomes. Leur pénétration est fonction de leur énergie, elle peut varier entre quelques millimètres et plusieurs mètres dans les tissus.

II) *Rayonnements corpusculaires.* Les rayonnements corpusculaires sont constitués par des particules élémentaires chargées ou non, ainsi que par des noyaux atomiques (particules lourdes).

a) Rayonnements corpusculaires électriquement chargés. Contrairement aux radiations électromagnétiques, ces radiations sont directement ionisantes.

On distingue :

— Le rayonnement β, négativement chargé, dont les électrons parcourent dans les tissus un chemin sinueux dû à la légèreté de la particule et au grand nombre de chocs qu'elle subit. Suivant son énergie, l'électron peut traverser plusieurs millimètres et même centimètres de tissu et plusieurs mètres dans l'air.

— Les rayonnements à particules lourdes, positivement chargées car ce sont des noyaux d'atomes, d'hélium pour les rayons α, d'hydrogène pour les protons, de deuterium pour les deutons. Seul le rayonnement α est émis naturellement, les autres particules lourdes doivent être accélérées artificiellement. Les trajectoires de ces noyaux atomiques sont rectilignes, et leur pouvoir de pénétration reste, à énergie égale, très inférieur à celui des autres rayonnements et, en conséquence, la densité des ions le long de leurs trajectoires est très grande.

b) Rayonnement corpusculaire non chargé. C'est le rayonnement dont la particule élémentaire est le neutron. Etant dépourvu de charge électrique, le neutron n'est pas directement ionisant, mais sa neutralité lui permet d'échapper aux attirances ou aux répulsions électrostatiques que subissent les corpuscules négatifs ou positifs. Dans son interaction avec la matière le neutron se comporte comme un projectile, il perd son énergie par choc et ionise en transmettant tout ou partie de cette énergie à des particules chargées et tout spécialement aux noyaux atomiques. Dans des cas très particuliers, les neutrons peuvent rendre artificiellement radioactifs certains atomes de l'organisme.

On voit que les rayonnements corpusculaires chargés ne peuvent constituer qu'une source d'irradiation superficielle et surtout interne. A l'inverse, les neutrons pénètrent la matière sur une très grande épaisseur et transmettent, au hasard des chocs, leur énergie à des particules lourdes de grand pouvoir

ionisant. Ils doivent donc être considérés comme une source très dangereuse d'irradiation externe.

B. — Efficacité biologique. On peut admettre que l'ionisation par les rayons X, γ et β est due aux électrons alors qu'elle a pour origine des particules positives lourdes quand il s'agit d'α, ou de neutrons. Au point de vue des effets biologiques ceci a une certaine importance car la densité des ions est beaucoup plus faible le long des trajectoires électroniques que le long des trajectoires des rayons α ou de protons. Donc, s'il faut pour produire une radiolésion que plusieurs ionisations atteignent simultanément la même cible, les rayons α et les neutrons seront plus efficaces que les rayons X ou β.

C. — Unités de mesure. C'est la Commission Internationale des Unités radiologiques qui a la charge de définir les unités utilisables.

a) On vient de voir que dans toute irradiation, indépendamment des qualités du rayonnement incident, il y a transfert d'énergie entre la radiation et la matière. L'unité de référence sera donc une unité d'énergie absorbée, c'est-à-dire le *rad* qui est égal à 100 ergs par gramme.

b) En radiobiologie, on ne peut songer à mesurer des rads mais on peut apprécier des quantités de rayonnements reçus. On a donc conservé l'ancienne unité qui est le *roentgen*.

c) La mesure des neutrons se fait par leur flux, c'est-à-dire par le nombre de particules par unité de surface et de temps. Parfois on a utilisé une *unité n* qui correspond à la quantité de neutrons qui produisent dans une chambre d'ionisation spéciale un courant d'ionisation égal à celui d'un roentgen de rayons X émis sous la tension de 250 KV. C'est une méthode commode mais d'une validité très douteuse.

d) Quand on utilise des radio-éléments naturels ou artificiels, on emploie comme unité le *curie* qui est la quantité du radio-élément dans laquelle le nombre des désintégrations est de 3.700 10^{10}/sec. Cette unité est valable quel que soit le type de rayonnement émis.

Dangers des radiations

Pour apprécier les risques que l'exposition aux radiations fait courir à l'organisme humain, il est nécessaire de procéder analytiquement en étudiant d'abord les lésions cellulaires provoquées par l'irradiation, la sensibilité comparée des tissus constituant l'organisme, et enfin les réactions générales qui accompagnent l'évolution des radiolésions ou sont leurs conséquences plus ou moins tardives.

On a vu qu'en dépit de propriétés physiques très différentes, l'action biologique des divers rayonnements était quantitativement comparable si l'on tenait compte du facteur d'efficacité biologique relative de chacun d'eux ; comme il n'existe aucune différence qualitative entre les radiolésions induites par les diverses radiations, on admettra qu'à doses équivalentes les effets biologiques sont identiques.

A. — Lésions cellulaires. Les lésions provoquées au niveau des cellules par les radiations ionisantes ne sont pas spécifiques et elles peuvent être de gravité très inégale. On peut distinguer :

- la mort immédiate ;
- la mort au début ou au cours de la première division ;
- la mort différée où la cellule se divise une ou plusieurs fois avant de dégénérer ;
- la mutation qui apparaît chez une cellule qui a conservé son pouvoir divisionnel mais qui a subi une modification irréversible dans l'arrangement de son matériel héréditaire, c'est-à-dire de ses gènes.

Dans les autres cas, la cellule garde un aspect morphologique et des fonctions apparemment normales, tout au plus observe-t-on parfois un certain retard avant l'apparition de la première mitose. Même dans ce cas, il n'est pas exclu que la cellule porte une cicatrice inapparente qui la rende plus sensible à une nouvelle atteinte des radiations.

Dès les premières études sur les radiolésions cellulaires, le rôle primordial joué par le noyau et par la mitose est clairement apparu. On sait actuellement que le noyau est plus radiosensible que le cytoplasme et que cette sensibilité est maximale pendant la première partie de l'interphase, c'est-à-dire pendant la période qui suit immédiatement la fin d'une division cellulaire. Ces constatations ont pour conséquence qu'une cellule est d'autant plus radiosensible qu'elle se divise activement ; cette loi fondamentale de la radiobiologie fut énoncée il y a bientôt 50 ans par Bergonié et Tribondeau.

B. — Lésions tissulaires. Il importe en abordant l'étude des radiolésions des organes et des tissus, d'avoir présent à l'esprit le fait qu'un organe est l'assemblage complexe d'un grand nombre de cellules ; les unes douées d'activité divisionnelle, donc radiosensibles, les autres mûres, incapables de se multiplier, mais qui sont généralement le support de l'activité fonctionnelle de l'organe ou du tissu. Si les cellules adultes ont une longue durée de vie et qu'un petit nombre d'entre elles suffise à maintenir intacte la fonction qui est impartie à l'organe, une irradiation pourra détruire toutes les cellules reproductrices sans beaucoup troubler le fonctionnement de l'organisme ; mais au

bout d'un temps plus ou moins long les cellules fonctionnelles auront toutes disparu sans être remplacées et la radiolésion apparaîtra brutalement.

Il existe dans l'organisme humain un certain nombre de tissus dont les cellules reproductrices possèdent un fort indice mitotique ; en vertu de la loi de Bergonié et Tribondeau ce seront eux les plus radiosensibles. Lors d'une exposition aux radiations ces organes et ces tissus développeront les radiolésions les plus précoces et les plus graves, de telle sorte que l'atteinte des autres organes pourra être négligée devant la leur. On étudiera donc seulement les lésions de la peau, du tractus digestif et plus particulièrement de l'intestin, des organes sanguiformateurs, et des organes de la reproduction.

a) *La peau* : L'épithélium de revêtement cutané subit, à la suite d'une irradiation, des lésions qui sont très comparables dans leur aspect morphologique aux brûlures. Une rougeur diffuse atteint la région irradiée, elle cède la place à des phlyctènes qui se rompent en donnant issue à un liquide clair. Quand la dose de rayonnement a été très forte, une ulcération gagne en profondeur, atteint le derme ; une fraction plus ou moins importante de la peau et des plans sous-cutanés s'élimine laissant une cicatrice indélébile, nécessitant parfois des interventions réparatrices. L'évolution est souvent moins grave et laisse seulement une cicatrice pigmentée ou, au contraire, dépigmentée ; parfois enfin aucune trace n'est visible. Bien souvent il ne s'agit pas, comme dans le cas précédent, d'une irradiation unique avec une dose importante de radiation, mais de petites expositions répétées. Entre chaque irradiation, une certaine fraction des cellules a le temps de se renouveler et ce sont des lésions chroniques qui apparaissent, dont le type le plus classique est la radiodermite.

Ces lésions cutanées s'accompagnent fréquemment d'une épilation temporaire ou définitive ainsi que d'altérations unguéales.

On peut rattacher aux lésions cutanées les atteintes oculaires réalisées par les radiations car la partie antérieure de l'œil est embryologiquement un dérivé ectodermique. On décrit principalement deux lésions qui peuvent aboutir à la cécité, ce sont la conjonctivite et la cataracte. Après une irradiation, l'œil devient douloureux, rouge, larmoyant, c'est le stade de la conjonctivite. Au moment de la cicatrisation une taie peut se former qui entraîne une diminution ou une perte de la vision. Le cristallin est, lui aussi, particulièrement radiosensible, mais ce n'est qu'au bout de plusieurs mois que la cataracte apparaîtra sans signes précurseurs. Il semble que les neutrons soient particulièrement efficaces en ce qui concerne la production des cataractes.

b) *L'intestin* : La très grande radiosensibilité du tractus digestif n'est pas limitée au seul intestin. L'estomac subit lui aussi des lésions graves dues à l'irradiation, mais elles sont inégales suivant les différentes régions de la muqueuse et le type du revêtement épithélial. Le gros intestin et le rectum sont peu radiosensibles. Ce sont donc surtout les lésions de l'intestin grêle qu'il importe de connaître.

Dans le cas de très fortes irradiations, la mort survient par perforation intestinale ou intoxication aiguë accompagnée d'infection généralisée. L'exposition à une dose moins forte de rayonnement provoquera seulement une atrophie de la muqueuse. Ces altérations morphologiques de type cicatriciel ont des conséquences fonctionnelles qui peuvent être redoutables ; parfois un état de cachexie par dénutrition s'installera peu à peu et évoluera vers la mort ; dans d'autres cas, les troubles gastro-intestinaux chroniques s'accompagneront de phénomènes d'auto-intoxication.

c) *Les organes sanguiformateurs* : Les ganglions lymphatiques, la rate, le thymus et la moelle osseuse sont parmi les organes les plus radiosensibles de l'organisme et en même temps ceux dont les fonctions multiples sont les plus nécessaires à l'équilibre vital.

Si les cellules souches, localisées dans les organes lymphoïdes et myéloïdes sont très sensibles aux radiations, il n'en est pas de même des cellules sanguines circulantes, rouges ou blanches, qui sont incapables de se multiplier et, comme telles, presque complètement indifférentes à l'action cytotoxique des rayonnements.

— Tissus hémopoïétiques : On peut distinguer deux types de tissus hémopoïétiques : le tissu lymphoïde qui donne naissance aux globules blancs appelés lymphocytes, il est localisé dans les ganglions lymphatiques, le thymus et la rate ; le tissu de la moelle osseuse, situé dans la diaphyse des os longs, les côtes et les vertèbres, qui est à l'origine des globules rouges, des polynucléaires et des plaquettes sanguines.

L'irradiation endommage immédiatement et gravement le tissu lymphoïde qui est très radiosensible. La destruction de la moelle osseuse est moins totale et plus tardive. Au moment de la réparation c'est évidemment le tissu myéloïde qui régénère le premier et le plus complètement, alors que les organes lymphoïdes ne guérissent que lentement et restent parfois définitivement hypoplasiques.

— Sang périphérique : Le sang périphérique va refléter les altérations provoquées par les radiations dans les organes hémopoïétiques. Mais comme les cellules sanguines circulantes ne sont pas détruites par le rayonnement, elles disparaissent uniquement parce que les cellules âgées ne sont pas remplacées par des

cellules jeunes. La rapidité de leur chute est donc fonction à la fois de la vitesse et de l'importance de la destruction de l'organe qui les forme, ainsi que de leur propre durée de vie. On peut schématiquement distinguer : les cellules blanches qui disparaissent précocement et brutalement car elles ne vivent guère plus de trois à cinq jours ; les cellules rouges qui disparaissent lentement et progressivement car leur vie moyenne est supérieure à 100 jours chez l'homme. En conséquence, lors d'un irradiation externe, la leucopénie (diminution des globules blancs) apparaîtra pour de faibles doses de rayonnement et des expositions partielles ; alors que l'anémie ne sera perceptible que pour des doses fortes appliquées à un large segment du corps. En irradiation interne, comme l'irradiation peut être considérée comme totale, l'importance de la leucopénie et de l'anémie sera uniquement fonction de la dose totale délivrée au niveau des organes sanguiformateurs.

d) *Organes de la reproduction* : L'action des radiations sur les organes de la reproduction revêt un aspect complexe en raison des fonctions sécrétoires externes et internes que possèdent le testicule chez l'homme et l'ovaire chez la femme.

— Le testicule : L'irradiation du testicule avec une forte dose de radiations produit la stérilité. L'influence de la dose est très importante ; en effet, de la cellule souche ou spermatogonie à la cellule fonctionnelle qu'est la spermatozoïde, la cellule germinale passe par toute une série de transformations, et l'on peut admettre que sa radio-sensibilité va en diminuant. La dose minimale stérilisante sera celle qui détruira toutes les spermatogonies, laissant pratiquement intactes les cellules plus évoluées. La stériiité n'apparaîtra donc qu'après un délai relativement long. Si la dose de radiation reçue est inférieure à la dose stérilisante, l'aspermie sera seulement passagère.

La glande interstitielle du testicule régit les caractères sexuels secondaires, elle n'est pas radiosensible, et ceux-ci seront entièrement conservés lors de la stérilisation par les radiations. L'arrêt de la spermatogenèse par les radiations est donc une castration incompiète si on la compare à la castration chirurgicale ou même hormonale.

— L'ovaire : Au moment de la puberté, toutes les cellules germinales de l'ovaire ont atteint un degré de maturité avancé contrairement aux cellules germinales mâles. Une autre différence est que ce ne sont pas les cellules les plus jeunes qui sont les plus sensibles aux radiations. Ainsi l'irradiation provoque une stérilité immédiate, définitive pour de très fortes doses, et la plupart du temps passagère. Mais dans l'ovaire la glande endocrine est intimement liée aux follicules ovariens (cellules germinatives) et elle est aussi radiosensible qu'eux. La stérilité fonctionnelle s'accompagne donc d'une disparition des caractères sexuels secondaires et entre autre de l'arrêt des menstruations.

A partir de la puberté, les cellules souches de la lignée germinale femelle sont toutes disparues ; la conséquence en est que si l'irradiation est chronique les doses reçues par ces cellules vont s'additionner arithmétiquement alors que chez les cellules somatiques qui sont périodiquement renouvelées l'irradiation chronique atteint chaque fois des cellules différentes lorsque l'intervalle de temps entre deux irradiations successives est suffisamment grand.

— Les mutations : L'effet de l'irradiation est donc très différent suivant que l'organe reproducteur irradié est mâle ou femelle. Il est pourtant une action des radiations à laquelle on a déjà fait allusion lors de l'étude des radiolésions cellulaires, et pour laquelle ces deux organes ont la même susceptibilité : c'est l'action mutagène des rayonnements ionisants.

La radiomutation peut évidemment intéresser les cellules somatiques tout comme les cellules germinales. C'est un phénomène lié directement à la division cellulaire. Une cellule mutée est une cellule dont le patrimoine héréditaire, représenté par le nombre et l'arrangement des gènes, est différent de celui de la cellule qui lui a donné naissance. La cellule mutée possédera un ou plusieurs caractères nouveaux qu'elle transmettra à sa descendance. Si la mutation a porté sur une cellule somatique, elle sera inapparente tant que le gène atteint n'aura pas de rapport avec la fonction de la cellule et de plus la mutation d'un caractère somatique acquis n'étant pas transmissible elle s'éteindra avec l'individu. Il est en effet évident que si la mutation atteint le gène responsable de la teinte de l'iris au niveau d'une cellule cutanée, les conséquences seront nulles. Il n'en est pas de même lorsque la cellule mutée appartient à la lignée germinale ; la modification du génome se révélera par des anomalies somatiques, soit dès la première génération si le gène est dominant, soit plus tard au hasard des croisements si le gène est récessif. Comme la majorité des mutations favorables ont été fixées dans l'espèce par le mécanisme de la sélection, la probabilité est toujours en faveur des mutations néfastes. L'action mutagène des radiations est une fonction directe de la dose de rayonnement ; on a pu démontrer que chez la souris une dose aussi faible que 25 r (roentgen) augmentait de manière significative l'incidence des mutations, et il est possible qu'une seule ionisation (c'est-à-dire une très faible fraction de roentgen) puisse être mutagène. Pour fixer les idées, on rappellera que la dose de stérilisation des organes reproducteurs est d'environ 2.500 r. Si on considère que l'espèce humaine est, au point de vue génétique, en équilibre avec la radioactivité du milieu ambiant, on peut penser que toute augmentation de cette radioactivité va déplacer cet équilibre, et accroître le taux des tares et des maladies héréditaires. Le nouvel équilibre serait atteint au bout de quelques générations correspondant probablement à plusieurs siècles.

Cette incursion rapide dans le domaine génétique montre que pour être inapparent et d'échéance lointaine le danger n'en est pas moins grave.

e) *Troubles généraux provoqués par l'irradiation* : Parmi les troubles généraux dus à l'irradiation, les uns sont spécifiques de l'atteinte de certains organes et les autres, aspécifiques, apparaissent comme un épiphénomène à la suite d'une quelconque exposition aux radiations.

— Troubles fonctionnels : Ces troubles fonctionnels sont aussi variés dans leur manifestation que les lésions organiques qui les provoquent. Mais cette complexité reste très théorique et dans la grande majorité des cas, les accidents majeurs sont dues aux modifications sanguines et aux altérations intestinales.

Les globules blancs sont de quatre types : lymphocytes, polynucléaires, monocytes et plaquettes. Les organes lymphoïdes et les lymphocytes sont en rapport étroit avec l'immunité en général et plus particulièrement avec l'immunité naturelle ou acquise aux infections microbiennes.

Les polynucléaires sont des phagocytes dont la fonction est d'éliminer les microbes, les monocytes peuvent les suppléer dans ce rôle. Enfin les plaquettes jouent un rôle primordial dans la coagulation sanguine. La diminution ou la disparition de ces différentes cellules, l'atteinte des organes qui leur donnent naissance, va donc, d'une part favoriser l'éclosion et la généralisation des processus infectieux et, d'autre part, expliquer l'apparition d'une maladie hémorragique parfois grave.

Les lésions du tractus digestif sont à l'origine de diarrhées qui provoquent un état de déshydratation et de cachexie rétrocédant lentement. Mais les altérations de la muqueuse vont aussi favoriser le passage dans le sang des bactéries intestinales qui risquent d'envahir l'organisme, en raison de la diminution de ses défenses naturelles.

Suivant la dose de rayonnement reçue et la localisation exacte de l'irradiation, on pourra évidemment rencontrer tous les degrés dans ces troubles généraux.

Le cas de certains éléments radioactifs naturels ou artificiels mérite d'être cité. Si ces corps pénètrent dans l'organisme, ils seront métabolisés comme leurs isotopes non radioactifs ou comme les corps dont ils sont les homologues chimiques. L'iode 131 se fixera dans la thyroïde et la lèsera électivement, le radium, le thorium suivront dans les os le métabolisme du calcium, le polonium détruira le foie et les reins où il se concentre avant d'être éliminé par la bile et l'urine.

— Mal des rayons : Sous le terme de « mal des rayons », on désigne un ensemble de troubles qui apparaissent après l'irra-

diation de régions très variées de l'organisme et pour des doses relativement faibles (50 r à 150 r) ; les symptômes en sont : la nausée et les vomissements, la fatigue, la perte de l'appétit, plus rarement la fièvre. C'est probablement une maladie par auto-intoxication, provoquée par la résorption des déchets cellulaires provenant des cellules tuées par les rayons.

f) *Dangers éloignés des radiations* : Tous les accidents qu'on vient de décrire surviennent immédiatement ou dans un délai relativement court après une surexposition aux radiations. Mais l'irradiation a des effets tardifs qu'on ne percevra qu'après une latence de plusieurs années ou même de plusieurs décennies, ce sont les radiocancers. On en a décrit de tous les types, atteignant les organes les plus divers : ostéosarcomes dus à l'ingestion de radium ou de thorium, cancers thyroïdiens provoqués par le radioiode, cancers du poumon chez les mineurs des gisements d'uranium ; mais les tissus les plus fréquemment atteints sont la peau et le sang.

Les radiocancers cutanés résultent généralement de la transformation maligne des lésions de radiodermite chronique ; les leucémies apparaissent soit brutalement chez des sujets hématologiquement normaux, soit chez des personnes dont la formule sanguine présente des anomalies qui constituent des signes d'alarme. Les médecins radiologues et les spécialistes de la radioactivité ont payé, pendant le demi-siècle qui vient de s'écouler, un lourd tribut à ces radiocancers.

La protection contre les radiations

Si dans tout l'exposé précédent il n'a jamais été fait allusion à une thérapeutique des radiolésions, c'est parce qu'elle est inexistante ou strictement palliative. C'est donc uniquement en évitant d'être atteint qu'on peut éviter les effets nocifs des radiations.

Ce souci d'assurer la sécurité des travailleurs en les protégeant contre toute exposition excessive, a conduit à entreprendre sur des mammifères un ensemble d'expériences destinées à fournir les éléments fondamentaux des normes de sécurité. Il est en effet essentiel de fixer la dose minimale qu'un organisme peut tolérer en irradiation externe, et de connaître le métabolisme des radio-éléments artificiels et naturels, ainsi que leur vitesse d'élimination afin de pouvoir limiter les risques de contamination interne. Se fondant sur les résultats de recherches expérimentales ainsi que sur les données de la radio- et de la radiumthérapie, la Commission Internationale de Protection radiologique a édicté un certain nombre de recommandations qu'on va maintenant résumer.

I) Normes de sécurité.

a) *Irradiations externes* : — Pour les rayonnements β, X et γ d'énergie inférieure à 3 Mev. la dose maximum permise est 0,3 r par semaine de 40 heures. Si l'irradiation est limitée aux mains, cette dose tolérable est portée à 1,5 r.

— Pour les neutrons, la dose est exprimée en flux : nombre de particules par cm^2/s.

Le flux tolérable est 2.000 particules pour les neutrons thermiques et lents ; mais ce nombre décroît très rapidement quand l'énergie augmente ; quand on entre dans le domaine des neutrons rapides, il varie entre 100 et 30 particules cm^2/s.

b) *Irradiation par contamination interne* : Le danger que présentent les radio-éléments introduits dans l'organisme est fonction, d'une part de leur organotropisme et, d'autre part de leur *période biologique.* La période biologique est représentée par le temps écoulé entre l'introduction du radio-élément et le moment où son activité est réduite de moitié par rapport à son activité initiale. Deux facteurs interviennent donc pour fixer cette constante : la période propre du radio-élément et sa vitesse d'élimination. Si la première est très grande et la seconde très faible par rapport à la vie humaine, le composé radioactif peut être considéré comme définitivement fixé (corps très dangereux) ; si la période physique est très courte ou l'élimination très rapide, le corps disparaîtra très vite et ne causera que des lésions restreintes ou même inappréciables.

— Eléments peu dangereux : La concentration maximale permise est inférieure à $10^{-7}\mu c/cm3$ dans l'air et $10^{-3}\mu c/cm3$ dans l'eau (μc est le microcurie).

— Eléments dangereux : La concentration maximale permise est inférieure à $10^{-10}\mu c/cm3$ dans l'air et $10^{-8}\mu c/cm3$ dans l'eau.

— Eléments très dangereux : La concentration permise est inférieure à $10^{-13}\mu c/cm3$ dans l'air et $10^{-s}\mu c/cm3$ dans l'eau.

Dans tous les cas où le risque d'irradiation est couru non plus par une communauté restreinte mais par l'ensemble d'une population, les doses énoncées ci-dessus doivent être diminuées 10 fois, aussi bien pour les irradiations internes qu'externes, parce que le danger génétique (mutation) cesse d'être négligeable.

II) Détection et mesure de la radioactivité.

Pour éviter de soumettre les travailleurs aux radiations, il faut, d'une part détecter et mesurer l'activité des sources de contamination, et d'autre part vérifier, au niveau des individus,

que les mesures de protection prises se sont révélées efficaces. On devra donc employer deux catégories d'appareils de mesure ; la détection et la mesure des sources se fera par l'évaluation de leur débit, alors que la dose reçue par un individu sera appréciée par des intégrateurs de dose.

a) *Détection et mesure des sources d'irradiation externe :*

— Les appareils de mesure : Les appareils de mesure sont essentiellement : les compteurs type Geiger-Muller, les chambres d'ionisation, les compteurs à scintillation, les détecteurs à cristaux. Pour la mesure des neutrons, on utilise des chambres d'ionisation d'un type particulier, ou bien les effets physiques et chimiques de l'interaction neutrons-matière.

Des méthodes de filtrations permettent de connaître la composition qualitative du rayonnement en β et γ, et d'évaluer leur énergie.

— Utilisation : Ces appareils servent exclusivement à délimiter les zones dangereuses aux alentours des sources de radiations, à déterminer le temps pendant lequel un individu peut stationner au voisinage des foyers radioactifs sans risque de surexposition. Ils servent à déceler les contaminations accidentelles tant dans les locaux de travail que sur les vêtements, les mains ou toute autre partie du corps.

b) *Détection et mesure des sources d'irradiation interne :*

Etant donné que les normes de sécurité sont extrêmement sévères, comme on a pu le voir, en ce qui concerne la contamination de l'air et de l'eau, la mesure de la radioactivité dans ces deux éléments est très importante. Les appareils détecteurs doivent être sensibles au rayonnement α qui est très dangereux quand ses émetteurs sont introduits dans un organisme. C'est surtout la pollution aérienne qui pose un problème dans les laboratoires et ceci d'autant plus que dans les trois familles radioactives naturelles il existe un homologue des gaz rares (radon, thoron, actinon) sans compter les poussières, les aérosols et les gaz radioactifs artificiels.

Les appareils de mesure appartiennent à l'un des types cités précédemment ; ils sont reliés à une pompe aspirante de débit connu. Les poussières sont arrêtées sur un filtre et leur activité est mesurée ; la radioactivité gazeuse peut être mesurée directement.

c) *Mesure de la contamination du personnel :*

— Méthodes physiques : On doit employer des appareils de mesure qui permettent de connaître directement la totalité de la dose reçue pendant un temps déterminé, qui varie, suivant le travail, entre quelques heures et deux semaines au plus.

Deux méthodes sont couramment utilisées, souvent en même temps ; ce sont la dosimétrie par électroscopie et la dosimétrie photographique. Dans le premier cas, on utilise un électroscope calibré qui se décharge plus ou moins vite suivant l'intensité de l'irradiation. Dans le second, un film photographique est placé dans un étui qui porte plusieurs filtres juxtaposés ; ces écrans filtrants permettent d'éliminer les composantes molles du rayonnement ou de mesurer les neutrons, donc d'analyser qualitativement le rayonnement incident. Le film sensible est impressionné par les rayonnements et on évalue l'importance de la dose reçue en le développant et en comparant l'intensité de son noircissement à celle d'une gamme de films étalonnés. Ces dosimètres sont simples et peu encombrants ; les électroscopes ont la forme d'un stylo et se placent dans la poche, les étuis à films se fixent au revers des blouses, aux poignets...

— Méthodes biologiques : Les méthodes physiques de dosimétrie qui viennent d'être brièvement rappelées sont rapides et faciles à mettre en œuvre. On a été amené à les compléter par des méthodes biologiques dont l'ensemble constitue les examens médicaux de contrôle. Il est nécessaire d'avoir à l'esprit que les méthodes physiques et biologiques sont complémentaires et ne peuvent, en aucun cas, se substituer les unes aux autres.

Toutes les personnes susceptibles de subir l'atteinte des radiations doivent être soumises à un examen du sang (numération des globules rouges et blancs, formule leucocytaire) au minimum une fois par an et chaque fois qu'on suspecte ou qu'on détecte une irradiation supérieure ou égale à la dose maximale autorisée.

Dans certains cas on pratiquera l'examen de la peau des mains et des empreintes digitales (manipulation d'ampoules de radon, par exemple) ; l'ophtalmologiste pourra chercher à déceler précocement une cataracte ; enfin il sera parfois nécessaire d'examiner la fonction génitale.

Quand on soupçonne une contamination interne, on devra tenter de déterminer la dose absorbée et mettre tout en œuvre pour faciliter l'élimination du radio-élément. La mesure de la radioactivité des excrétats, des sécrétions bronchiques ou nasales, aidera à connaître l'importance de la contamination, la localisation du radio-élément et permettra d'en suivre son élimination.

Un cas très particulier est celui d'une irradiation due aux neutrons. Ces particules sont, on le sait, capables de rendre radioactifs des éléments naturels stables. Le cas le plus frappant est celui du sodium, assez abondant dans l'organisme ; on pourra donc apprécier la dose reçue en mesurant l'activité spécifique du sodium plasmatique (Tableau I).

Radio-activité du sodium sanguin induite chez l'homme par une exposition aux neutrons (1).

Dose reçue en rem.	Coups/sec./mg. de Na
1.930	73,6
480	18
390	13,3
186	7,1
140	3,8
55	2
42	1,5
33	1,2
31	1

Il reste maintenant à étudier les moyens de protection que l'on possède pour réduire au minimum les risques de surexposition.

III) Méthodes de protection.

La protection contre les radiations ionisantes est réalisée de façons différentes suivant le débit des sources, le type et l'énergie de leur rayonnement.

a) *Sources de très grande intensité* : Les sources radioactives de très forte intensité ne sont guère connues que depuis l'existence des piles atomiques et des radio-éléments artificiels. On peut se procurer facilement, à l'heure actuelle, des sources de radiocobalt équivalent à plusieurs kilos de radium, c'est-à-dire plusieurs milliers de curies. Les radiations dangereuses, dans le cas des piles ou des radio-éléments artificiels, sont les γ et les neutrons. Pour éliminer les neutrons, on utilise des revêtements en béton où on incorpore du fer et du bore. En ce qui concerne les γ tous les matériaux conviennent, c'est une question d'épaisseur, mais on utilise surtout des protections à base de plomb, c'est le métal qui est le plus efficace pour un faible encombrement.

b) *Sources de moyenne intensité* : Ces sources d'activité moyenne, généralement inférieure à 1 curie (équivalant sensiblement à 1 g de radium), sont actuellement très répandues, et ce sont certainement les plus dangereuses, car leur maniabilité incite aux imprudences.

(1) Calculée d'après L. H. Hempelmann et coll. *Annals of Int. Med.*, 1952, *36*, 279-510.

Pour éviter les surexpositions, on dispose de trois procédés :

— Réduire au minimum le temps pendant lequel on est exposé aux radiations.

— Augmenter au maximum la distance entre l'opérateur et la source, car l'intensité du rayonnement varie en raison inverse du carré de la distance.

— Conserver la source à l'intérieur d'un blindage généralement en plomb et travailler à l'abri d'un écran, facilement réalisable en briques de plomb, de telle sorte qu'on évite au maximum l'irradiation directe.

Dans tous les cas où l'on utilise des produits volatils ou capables de se répandre dans l'atmosphère sous forme de poussières, d'aérosols ou de projections, il est nécessaire de travailler sous une hotte spéciale bien ventilée. L'air ne sera rejeté de la hotte qu'après filtration. Il faut enfin veiller à ce que la concentration radioactive des eaux ne soit pas excessive.

Des précautions individuelles doivent être prises qui consistent à ne jamais fumer ou manger dans un laboratoire « actif ». Le port de gants est indiqué pour de nombreux travaux, non seulement parce qu'ils évitent la pénétration transcutanée, mais surtout parce qu'il est beaucoup plus simple de jeter des gants contaminés que de décontaminer la peau par des lavages et des brossages qui peuvent favoriser la pénétration des radioéléments par les érosions et les excoriations qu'ils provoquent.

Conclusions

On peut penser qu'en raison de la réglementation et du contrôle très stricts qui président à l'utilisation des sources de rayonnement, le danger de surexposition est inexistant. Il en est effectivement ainsi dans les services spécialisés où le nombre et l'importance des accidents sont infimes. Le problème est plus complexe quand il s'agit d'éviter la contamination de l'atmosphère et de l'eau par les déchets radioactifs provenant des réacteurs nucléaires, mais les fondements théoriques de la protection restent les mêmes et seule l'importance des moyens à mettre en œuvre augmente considérablement.

De cet exposé très schématique, on peut conclure que les rayonnements ionisants représentent un danger permanent, mais facilement contrôlable si les règles de sécurité sont appliquées. Les problèmes de protection posés par l'utilisation des radioéléments et de l'énergie nucléaire dans l'industrie, peuvent tous recevoir une solution satisfaisante aussi bien en ce qui concerne la sécurité des travailleurs que celle des populations.

J. F. Duplan.

ÉCHOS ET NOUVELLES (suite)

● *Vulcanisation du caoutchouc de silicones.* — La revue américaine « Chemical and Engineering News » nous apprend qu'à la Société Westinghouse on a réussi à vulcaniser du caoutchouc de silicones. Le procédé ne nécessite ni la chaleur, ni la pression, ni des réactifs chimiques, mais des électrons de deux millions de volts. Il est nécessaire de contrôler le voltage des électrons et le temps d'exposition. Ce procédé n'est pas encore arrivé au stade commercial, mais il peut devenir une méthode importante de vulcanisation des silicones.

● L'*étoile polaire.* — Depuis longtemps les astronomes pensaient que l'étoile polaire devait être une étoile double, sa sœur jumelle étant une étoile invisible autour de laquelle elle accomplit sa rotation en trente ans. L'étoile polaire est une Céphéïde qui se dilate et se contracte en un cycle de quatre jours. Ces pulsations provoquent un déplacement de son spectre telle qu'elle donne l'impression de se rapprocher, puis de s'éloigner de la Terre. Le Dr Elizabeth Roemer, de l'Université de Californie, a, par des observations récentes, confirmé l'hypothèse de J.-H. Moore, datant de 1929, c'est-à-dire le fait que l'étoile polaire avait un compagnon invisible.

● *L'origine des éléments.* — Dans les « Proceedings of the National Academy of Sciences », W.-A. Fowler et J.-L. Greenstein proposent une théorie suivant laquelle les éléments lourds proviendraient de certaines étoiles formées elles-mêmes de matériaux provenant d'étoiles très anciennes. Ce processus se poursuivrait encore actuellement et les éléments lourds de la Terre et du Soleil dateraient de 500 millions d'années environ après le début de l'Univers. Quoique l'on ne connaisse pas d'étoile constituée uniquement d'hydrogène, on sait que certaines étoiles très anciennes ne renferment pas de métaux, mais il y a des étoiles jeunes qui sont riches en carbone et cet élément peut être à la base de réactions susceptibles de donner, par addition de neutrons, des éléments lourds. Ce mécanisme semble être confirmé par la présence de technetium dans certaines étoiles. Cet élément se désintègre si rapidement qu'on ne peut le caractériser spectrographiquement que lorsqu'il vient d'être récemment formé. Les températures des étoiles et la structure nucléaire permettent d'expliquer la formation de tous les éléments jusqu'au plomb. Mais les éléments plus lourds et les éléments radioactifs exigent une plus grande quantité d'énergie ; ils se formeraient sous l'influence des champs magnétiques stellaires agissant comme de puissants accélérateurs de particules.

(Suite p. 244.)

L'ÉTUDE DU CERVEAU
Carrefour de Sciences et de Méthodes

par P. LAGET.

Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

Une tendance actuelle commune à toutes les sciences et qui se justifie pleinement par la complexité des faits amène celui qui veut se livrer aux recherches expérimentales à se spécialiser précocement. Quelle que soit la discipline dans laquelle il s'est instruit, celle-ci est toujours trop vaste pour qu'il puisse l'embrasser toute entière, et rapidement le moment vient où il consacre toutes ses ressources intellectuelles et toute son activité de chercheur à défricher telle ou telle parcelle de l'immense champ qui lui est offert.

Il ne m'appartient pas ici d'envisager les inconvénients ou les avantages de cette spécialisation extrême, elle s'impose d'ailleurs comme un de ces impératifs que le développement des sciences et l'infirmité de notre esprit ont rendu catégorique. On ne peut songer à revenir en arrière et il apparaît vain de regretter le temps où un seul homme pouvait faire la somme des connaissances acquises à son époque.

Cependant, il convient de remarquer que la nécessité qui astreint le chercheur à explorer seulement une très faible fraction d'une discipline, amène parfois ce dernier à envisager l'ensemble des problèmes qu'elle soulève avec une paradoxale simplicité. Le désir de l'unité, celui de construire rationnellement les faits découverts en un majestueux ensemble de lois générales sont si puissants dans notre esprit que l'homme de science ne peut échapper parfois à la tentation des généralisations abusives.

Cette tentative devrait être plus facilement repoussée, cette tendance plus étrangère au physiologiste qu'à tout autre spécialiste. La diversité des problèmes que cette discipline lui pose les questions non résolues rencontrées à chaque instant et la multiplicité même des techniques qu'elle requiert doivent bien vite borner son ambition et lui donner un évident et bien vif sentiment d'humilité intellectuelle.

Cette expérience, il me fut donné de la faire et de la ressentir vivement dans les quelques dix années que j'ai consacrées à l'étude de la Neurophysiologie. Entré tout au début de ma carrière scientifique dans le Laboratoire du Professeur A. M. Mon-

nier, j'eus l'occasion de m'initier sous la direction de ce maître aux techniques les plus récentes de physiologie nerveuse et de faire porter mes efforts sur quelques problèmes posés par l'activité des nerfs périphériques. Ce premier contact avec la réalité expérimentale, me montra bien vite que le fonctionnement d'un organe ou même d'une fraction d'organe apparemment simple, et homogène dans sa structure, fait déjà appel à une multitude de facteurs dont l'enchevêtrement, l'intrication et la complexité sont extrêmes.

Par ailleurs, les circonstances qui ont présidé à ma formation médicale m'ont amené à m'intéresser au fonctionnement du système nerveux central, et plus particulièrement du cerveau sous la forme la moins élémentaire, la plus globale qui soit, en pratiquant journellement l'électro-encéphalographie.

Je dois vous avouer que mes premières réactions vis-à-vis de cette nouvelle méthode furent dictées par un profond scepticisme. Je venais de mesurer la complexité des problèmes posés par le fonctionnement d'une structure apparemment aussi simple qu'un mince faisceau de fibres nerveuses, et il aurait été cependant possible de guider les démarches du clinicien ou du neurochirurgien par la seule étude de graphiques traduisant une réponse combien grossière et combien déformée de l'activité électrique de milliards de neurones.

Il y avait là un paradoxe dont la constatation même était vivement excitante pour l'esprit. Au fur et à mesure cependant que je me familiarisais avec l'étude de l'activité électrique du cortex, je finis par m'apercevoir qu'effectivement il était possible d'en tirer des indications relativement précises. La méthode se justifiait, non seulement par ses résultats mais surtout parce qu'elle supposait implicitement de disciplines, de techniques convergentes dans l'étude du fonctionnement cérébral.

Je distinguais peu à peu les linéaments d'une vaste fresque où chacune avait sa part, depuis l'exploration clinique la plus élémentaire, la plus humble qui recueille quelques gouttes de liquide céphalo-rachidien, jusqu'à la spéculation la plus hautaine du cybernéticien.

Cette fresque, il me plairait de vous en brosser à grands traits les aspects les plus frappants, et vous faire saisir comment l'étude d'un organe aussi complexe que notre cerveau requiert l'application de techniques et de disciplines extrêmement variées.

Indiquons tout d'abord que cet organe dont les fonctions sont si nombreuses et d'un degré si élevé n'échappe pas plus qu'aucun autre aux règles générales de protection et de nutrition. Comme d'autres viscères il est protégé des chocs à la fois par une boîte dure et par une suspension hydraulique destinées l'une et l'autre à en amortir les répercussions sur sa fragile substance. Il est bien entendu le siège d'une intense activité cir-

culatoire et d'autre part, les cavités qu'il contient, les ventricules cérébraux, sont remplies de ce même liquide céphalo-rachidien, que l'on trouve à son pourtour. Ce fluide ne joue pas seulement un rôle protecteur mais vraisemblablement aussi nourricier. Quoi qu'il en soit, il circule, est sécrété, réabsorbé et les troubles de ces activités sont souvent lourds de conséquences sur les éléments nobles de la matière cérébrale.

Circulation du sang, circulation du liquide céphalo-rachidien, intégrité de la boîte cranienne, voilà trois conditions primordiales au maintien en état normal, physiologique des hémisphères cérébraux. Il appartiendra essentiellement au neurologiste d'en discerner les modifications pathologiques et il aura pour cela à sa disposition les ressources des méthodes radiologiques adroitement adaptées à l'étude d'un organe qui, à peu près transparent aux Rayons X et enfermé dans une boîte osseuse relativement opaque, devrait en principe lui être invisible. En effet, ceci est à peu près exact en ce qui concerne la radiographie standard qui ne peut guère renseigner que sur l'intégrité du squelette, mais des techniques radiologiques plus perfectionnées dont le développement actuel est très grand permettent de vérifier que le liquide céphalo-rachidien circule normalement, et qu'il n'existe pas non plus de malformations importantes des vaisseaux sanguins et de l'irrigation cérébrale.

Comme l'étude radiologique d'un organe n'est basée que sur des jeux d'ombre, de transparences relatives, on s'efforcera de rendre de densité opaque différente telle ou telle partie de celui-ci. C'est ainsi que, dans le cas qui nous intéresse, on insufflera de l'air dans les ventricules cérébraux à l'aide soit de trous de trépan pratiqués dans la boîte osseuse, soit beaucoup plus simplement, en pratiquant une ponction lombaire au cours de laquelle on retirera une certaine quantité de liquide que l'on remplacera par un égal volume d'air. Celui-ci, quand le sujet sera en position verticale, remontera dans la partie supérieure des ventricules cérébraux et les remplira plus ou moins. Une radiographie du crâne du patient montrera alors des inégalités de teinte qui dessineront les contours des ventricules cérébraux et permettront de voir s'ils sont de volume convenable, dilatés, asymétriques ou de forme anormale. Autant de modifications d'aspect qui aiguilleront le diagnostic soit vers des troubles de circulation (hypersécrétion, hypoabsorption, blocage) du liquide céphalo-rachidien, soit même vers des modifications de constitution anatomique de tel ou tel lobe cérébral.

Mais ce ne sont pas seulement les cavités intra-crâniennes que l'on peut rendre visibles : la circulation sanguine dessinera pour le praticien et son cours et ses troubles. L'injection d'une substance opaque aux Rayons X (on choisit ici des solutions riches en Iode) dans la carotide permettra d'opacifier tout ou partie de

l'arbre vasculaire cérébral et de se rendre compte si certains symptômes pathologiques éventuellement constatés ne sont pas dus, par exemple, à une tumeur par multiplication exagérée soit des vaisseaux sanguins eux-mêmes, soit de tissus indifférenciés au sein de la substance nerveuse.

Je viens à l'instant de vous retracer quelques-uns des moyens que le neurologiste possède pour vérifier le siège et la cause de tels ou tels troubles qui lui apparaissent liés à une atteinte du cerveau, procédés qui relèvent souvent d'une technique radiologique complexe et disons raffinée, mais il convient toujours de nous souvenir que si le progrès de ces techniques est spectaculaire, bien avant leur existence cependant une masse énorme de renseignements sur le fonctionnement cérébral, les grandes localisations, les voies les plus importantes de la motricité et de la sensibilité étaient déjà connues grâce à l'application patiente et éclairée de la classique méthode anatomo-clinique. Celle-ci n'a pas fait appel à des procédés techniques compliqués, mais s'est appuyée sur les constatations que fournissent les seuls sens du praticien, constatations hiérarchisées, classées et convenablement utilisées par toutes les ressources de déduction d'un esprit bien entraîné. Rapprochées des observations macroscopiques ou microscopiques de l'autopsie, elles se sont montrées à même de fournir des données extrêmement importantes que l'on pourrait résumer par la seule énumération des grands syndromes neurologiques.

Les progrès récents des techniques ne doivent pas, d'ailleurs, faire sous-estimer cette méthode qui, pour ne faire guère appel qu'au raisonnement et aux constatations directes de nos sens reste non seulement d'application journalière pour le neurologiste, mais encore fournit à l'expérimentateur de précieux moyens d'investigation dans ses recherches sur le fonctionnement de telle ou telle formation de la substance cérébrale. En effet, dans les Laboratoires de neurophysiologie la création d'une lésion soigneusement localisée et ménagée, l'observation ensuite des effets de celle-ci sur le comportement de l'animal ou le fonctionnement de tel ou tel organe, puis le contrôle post-mortem de son étendue, de ses caractéristiques, sont de pratique quotidienne. Il ne s'agit ici de rien d'autre qu'un développement direct de la méthode anatomo-clinique mais dans laquelle on a remplacé la lésion spontanée souvent globale et peu discriminative par une lésion provoquée de siège et d'intensité rigoureusement choisis.

Il est par ailleurs bien évident que les résultats d'atteintes pathologiques spontanées ou provoquées ne sauraient suffire pour expliquer tous les mécanismes cérébraux ; il convient aussi bien entendu, de les rechercher sur un organe intact et normal. Pour le cerveau, étant donnée son infinie complexité structurale et fonctionnelle, il apparaît indispensable d'avoir à sa disposition

des méthodes d'exploration suffisamment précises et permettant d'individualiser et de localiser telle ou telle particularité de son activité. Il est indiscutable que dans ce domaine le progrès des techniques physiques, et en particulier de l'électronique, ont offert des moyens de valeur inappréciable. Très vite, en effet, puisque les premières constatations d'une activité électrique d'origine cérébrale allaient être faites dès 1875, les neurophysiologistes se sont rendus compte que la substance nerveuse était le siège de phénomènes électriques, qu'il s'agisse des prolongements des neurones, qui, réunis en faisceaux, constituent les nerfs périphériques et les cordons de la substance blanche, ou des corps cellulaires eux-même ramassés en structure ganglionnaire ou étendus en nappes de mince épaisseur comme dans le revêtement cortical. Mais pour relativement ancienne que fut la découverte de ces variations de potentiels électriques, il a fallu attendre celle du pouvoir amplificateur de la lampe à trois électrodes et celle de l'oscillographe cathodique pour que le neurophysiologiste puisse étudier commodément les caractères de cette activité électrique, et il convient ici de rappeler le rôle fondamental joué par les deux physiologistes américains Erlanger et Gasser dans l'extraordinaire floraison d'études, de recherches, la moisson de découvertes que leur mise au point patiente des ressources de l'électronique appliquée à l'étude des phénomènes nerveux a suscitée et permise. Il est certain que de nos jours l'étude de la matière nerveuse et du cerveau lui-même est inséparable des procédés de détection et d'amplification des courants électriques faibles. Le jeune étudiant qui pénètre pour la première fois dans un Laboratoire de Neurophysiologie moderne croit beaucoup plus entrer dans un Laboratoire de Physique que de Biologie. L'électronique en est, en effet, le maître Jacques, qu'il s'agisse de constater et de mesurer les variations de potentiel électrique spontanées fournies par les éléments nerveux, ou de produire leur mise en fonctionnement et, en conséquence, les modifications électriques qui l'accompagnent et la reflètent, grâce à l'utilisation de « stimulateurs », fournisseurs d'ondes électriques que les ressources des circuits et des tubes à électrodes permettent de régler facilement en forme, intensité et durée.

Ces procédés techniques dont les progrès ont eux-mêmes suivi fidèlement ceux de la physique électronique ne sont pas demeurés longtemps cantonnés aux seuls laboratoires de Neurophysiologie et à l'expérimentation animale. Bien vite leur champ d'application s'est étendu à la clinique et l'étude du fonctionnement du cerveau humain a pu entrer dans une nouvelle phase. C'est le neurologiste et psychiatre autrichien Berger qui, dès 1928, allait introduire dans la pratique neurologique l'étude de l'activité électrique spontanée du cerveau et de ses diverses modifications pathologiques, créant ainsi l'Electroencéphalogra-

phie. Celle-ci consiste à enregistrer, comme vous le savez, les fluctuations spontanées de potentiel dont l'écorce cérébrale est le siège, fluctuations que les méninges, la boîte crânienne et le revêtement cutané atténuent et modifient mais ne font pas disparaître, ce qui permet de les détecter grâce à des électrodes simplement posées sur la peau du crâne du patient et judicieusement placées de façon à explorer l'activité fournie par tel ou tel des lobes cérébraux. La multiplication des enregistrements effectués tant sur les sujets normaux que sur ceux atteints de différentes affections nerveuses et leur étude attentive allaient permettre de reconnaître les éléments standard de l'activité électrique cérébrale ainsi que leurs modifications plus ou moins caractéristiques dans certains états physiologiques ou pathologiques.

Il n'est pas exagéré de dire que les conceptions à la fois cliniques, thérapeutiques et pronostiques de maladies aussi mystérieuses, aussi impressionnantes que l'épilepsie, par exemple, allaient se trouver complètement transformées, bouleversées par l'introduction de l'électroencéphalographie.

A l'état de veille, le cerveau de l'homme adulte qui repose détendu, les yeux fermés, présente des fluctuations électriques spontanées assez régulières, d'aspect sinusoïdal, de fréquence oscillant entre 9 et 12 par seconde et d'une amplitude faible puisqu'elle ne dépasse pas en général 50 millionièmes de volt. Lorsqu'un sujet présente une crise comitiale généralisée ou certains équivalents psychomoteurs de celle-ci, telle que « l'absence », cette activité peu intense est remplacée par un véritable « orage » électrique. On enregistre, en effet, dans ce cas des variations de potentiel d'aspect particulier que l'on appelle, d'après leur aspect morphologique, des pointes ou des pointes d'ondes (éléments pointus suivis d'ondes lentes) dont le voltage est jusqu'à 10 fois plus élevé atteignant parfois le demi-millivolt et la fréquence plus basse (3 par seconde en général). Le plus souvent ce « paroxysme » électrique intense envahit très rapidement le cortex tout entier, envahissement qui est accompagné d'une obnubilation du sujet, d'une perte de conscience qui est une des caractéristiques de la grande crise de « haut mal ».

En dehors des périodes aiguës, le tracé électroencéphalographique de tels malades est moins éloigné de l'aspect normal mais il persiste souvent des éléments électriques anormaux : ondes pointues, ondes lentes, pointes ondes qui sans manifestation clinique perceptible permettront de faire le diagnostic de l'affection du sujet atteint, puis d'apprécier la valeur d'une thérapeutique anti-convulsivante par la normalisation progressive de l'enregistrement qu'elle provoque.

L'étude des modifications de l'activité électrique corticale a été poussée assez loin pour que dans certains cas la seule obser-

vation des tracés des patients permette de faire une localisation, d'indiquer avec une certaine précision au neuro-chirurgien l'emplacement où siège la lésion cérébrale génératrice des troubles cliniques constatés ; celle-ci pourra être une cicatrice de traumatisme ancien, une poche purulente, un kyste qui, par l'irritation incessante qu'ils entraînent dans les tissus sains provoque le déclenchement de crises épileptiques. Ce pourra être aussi la prolifération cancéreuse de certains éléments du cerveau, éléments qui ne sont pas des cellules nerveuses proprement dites, mais des cellules plus ou moins dérivées du tissu conjonctif et dont la multiplication excessive forme ce que l'on appelle les tumeurs cérébrales. Dans ces cas les lésions localisées s'accompagnent presque toujours de troubles de l'électrogenèse corticale. Si une électrode est placée sur la région du crâne correspondant à celle de l'atteinte cérébrale et deux autres à distance sensiblement égale de part et d'autre de celle-ci, les éléments anormaux (pointe ou pointe-onde) enregistrée entre l'électrode centrale et chacune de ces dernières apparaissent d'amplitude égale et de sens opposé, ceci étant dû aux seules caractéristiques physiques de propagation des accidents électriques au sein de la substance nerveuse. La recherche précise de cette « opposition de phase », comme disent les électroencéphalographistes, permet évidemment de localiser la lésion puisque on ne la constate que lorsqu'une des électrodes enregistreuses est placée juste au-dessus du foyer générateur d'altérations.

Ces quelques exemples sur lesquels je n'insisterai pas davantage, vous montrent que les moyens physiques de détection de l'activité cérébrale guident et aident considérablement les démarches du clinicien et du neurochirurgien. Leur champ d'action n'est d'ailleurs pas limité à ces seules applications qui pour intéressantes qu'elles soient demeurent restreintes aux cas pathologiques. En effet, l'électroencéphalographie est, par exemple, susceptible de jeter une lumière intéressante sur certains problèmes aussi complexes et mal connus que les modifications, les transformations que le cerveau subit au cours de la croissance de l'individu. Les neuroanatomistes, les neurohistologistes ont souvent été surpris par le fait que chez le très jeune animal, chez le très jeune enfant, certaines structures nerveuses apparaissent anatomiquement identiques à celles de l'adulte, mais ne sont visiblement pas fonctionnelles. Jusqu'à l'application des procédés fins de détection des activités électriques des éléments nerveux, de l'électroencéphalographie en particulier, ce problème de maturation fonctionnelle des structures n'avait pas reçu, même un début de solution. L'enregistrement de l'activité électrique corticale, par contre, montre que celle-ci se modifie chez l'Homme très profondément et pendant de nombreuses années après la croissance, puisque ce n'est qu'au cours de l'adolescence entre 14 et 16 ans, que l'électroencéphalogramme présente un

aspect identique à celui de l'adulte. Une étude systématique de son évolution avec l'âge, permet dans certains cas de mettre en évidence des troubles de cette « maturation » électrique cérébrale et de donner ainsi un support concret aux notions assez abstraites de retard dans le développement psychomoteur ou intellectuel de l'enfant.

Nous venons de nous étendre assez longuement sur les méthodes physiques d'étude du fonctionnement cérébral, c'est qu'en effet, dans le cas de la matière nerveuse, le signe le plus direct de son fonctionnement, celui le plus facile à constater si les moyens d'enregistrement sont suffisamment bien adaptés à cet usage, consiste dans les variations de potentiel électrique qui s'y produisent. Ce serait une erreur cependant de croire que son étude n'a utilisé que ces seules méthodes. On sait depuis longtemps que le cerveau est le siège d'une activité métabolique intense et cette constatation a bien entendu amené les chimistes à essayer de pénétrer plus intiment les réactions dont la matière cérébrale est le siège. Depuis les grands travaux de Tudichum sur la constitution chimique des éléments nerveux, les chimistes et biochimistes ne sont pas restés inactifs. Non seulement ils ont poursuivi la recherche de la nature et des proportions des différents constituants : protéines, lipides, éléments minéraux, mais aussi comment ceux-ci intervenaient dans le fonctionnement cérébral, et les transformations qu'ils étaient susceptibles de subir au cours de celui-ci, en particulier lorsque son activité passe par une phase d'exaltation passagère mais considérable comme c'est le cas dans la crise convulsive, apparemment spontanée ou expérimentalement provoquée sur l'animal par l'injection de substances convulsivantes (cardiazol), (strychnine), (insuline), ou l'application d'agents physiques tels que des courants électriques de forme, de durée et d'intensité convenables. Il a été ainsi possible de montrer que les grandes activités convulsives sont toujours accompagnées d'une très grande augmentation de la circulation cérébrale et de la consommation d'oxygène. Ces recherches ont été poursuivies chez l'Homme par de nombreux savants tels que Gibbs, Lennox, Penfield, Schmitt. On sait par ailleurs que l'oxygène lui-même est absolument indispensable au maintien de cette activité tant pathologique que physiologique et que l'apnée durable, l'asphyxie ménagée font disparaître les signes électriques de l'activité cérébrale. L'augmentation de la circulation sanguine évaluée par la dilatation des vaisseaux cérébraux, dilatation qu'il est assez facile de constater et d'apprécier pendant les périodes d'hyperactivité, a été mise en rapport avec l'accroissement de l'acidité du milieu causé par l'augmentation importante de l'anhydride carbonique et de l'acide lactique produit au cours de ces paroxysmes. De très belles recherches de Jasper et Erickson ont pu même permettre de mesurer le pH local de la surface du cortex

et ses modifications au cours des crises convulsives. C'est ainsi que tout au début de l'activité épileptiforme suivant l'injection de substances convulsivantes telles que le cardiazol, le pH croît d'abord pendant un court instant puis ensuite diminue rapidement et d'une façon importante. Cette chute caractéristique étant vraisemblablement due à la production exagérée d'acide lactique et d'une façon plus générale de métabolites acides. On a pu également montrer que les mécanismes enzymatiques à haut potentiel énergétique qui tendent à consommer de l'oxygène et des hydrates de carbone révèlent également dans ces conditions particulières un important accroissement de leur activité.

Certaines substances chimiques que l'on sait jouer un rôle dans la transmission de l'activité nerveuse et en particulier à la jonction neuromusculaire, telles que l'acétylcholine, n'ont pas manqué d'être recherchées dans le cervau lui-même ainsi que le rôle qu'elles pouvaient tenir dans son fonctionnement. S'il n'est pas possible encore actuellement d'exposer un ensemble de faits absolument cohérents à ce sujet, il n'en reste pas moins vrai que de multiples travaux ont montré que l'acétylcholine intervenait à un moment quelconque, mal défini encore, dans le déclenchement et l'entretien de l'activité cérébrale. Nous ne pouvons entrer ici dans le détail des recherches consacrées aux différents agents métaboliques intervenant dans le fonctionnement des structures cérébrales complexes ; mais il apparaît également que certains composés du type des amoniums quaternaires, que certains ions inorganiques sont susceptibles d'y jouer également un grand rôle, et c'est ainsi en particulier pour ces derniers qu'un accroissement net de l'activité électrique corticale suit une injection intra-carotidienne de chlorure de potassium (F. Bremer), que la diminution de calcium provoquée par l'injection de citrate peut amener le déclenchement d'activités convulsives. On retrouve ici sur les centres les plus élevés l'action excitante et génératrice d'auto-activité, de la décalcification que le Professeur A. M. Monnier et son école ont particulièrement étudié sur les éléments.

Méthode anatomo-clinique, techniques physiques de détection ou de déclenchement de l'activité électrique des éléments nerveux, recherche sur le chimisme et le métabolisme, autant de voies d'approches à une connaissance meilleure, plus intime du fonctionnement cérébral. Si nous envisageons moins maintenant l'activité élémentaire que l'activité globale des centres nerveux supérieurs, si nous considérons que leur rôle fondamental est chez l'Homme ou chez l'animal de permettre la réalisation de comportements extrêmement complexes, que c'est là une caractéristique essentielle de leur activité, il n'est pas possible de passer sous silence une méthode d'étude qui leur est vraiment spécifique, celle du conditionnement d'activités réflexes. On sait, depuis Pavlov, que des stimulations sensorielles bien définies

peuvent déclencher chez l'animal des comportements, des conduites relativement simples ou au contraire très complexes et que celles-ci trouvent leur origine dans le haut pouvoir d'organisation et d'intégration des mécanismes physiologiques élémentaires possédé par le système nerveux central et plus particulièrement les hémisphères cérébraux. La possibilité de provoquer à volonté ces comportements, de les « stéréotyper » dans leur déclenchement et leur exécution, constitue évidemment un excellent moyen d'étude des mécanismes qui interviennent dans leur établissement, leur maintien, leur déroulement. Il est vraiment surprenant de songer que, par exemple, la destruction de minuscules amas de cellules nerveuses situées à proximité de l'hypophyse peut complètement modifier le comportement des animaux d'expérience tel que des rats, dans des conduites aussi compliquées que la recherche de la boisson, de la nourriture, leur activité sexuelle, comme l'a si bien montré le Pr. A. Soulairac.

Il y a évidemment dans cette technique du conditionnement une méthode d'étude très particulière du fonctionnement des centres cérébraux, et comme nous l'avons dit précédemment, il faut en voir partiellement la cause dans l'extraordinaire complexité des interréactions dont ils sont le siège, ainsi que dans cette propriété encore mystérieuse que l'on appelle leur pouvoir d'intégration. Les centres nerveux supérieurs soumis à un perpétuel bombardement d'influx qui leur sont apportés par toutes les afférences venant des organes des sens et des terminaisons sensibles périphériques ou profondes, les reçoivent, les accumulent, les combinent, éventuellement les négligent et finalement y répondent en mettant en action soit le système complexe de la motricité, soit en modifiant le fonctionnement des systèmes végétatifs assurant les grandes fonctions d'homéostasie de l'organisme, telles que la respiration, la digestion, la circulation. On peut d'ailleurs considérer également que dans une certaine mesure le contrôle fondamental de ces dernières consiste précisément à maintenir en état d'intégrité structurale et fonctionnelle les centres nerveux.

Il y a là, dans cet extraordinaire enchevêtrement d'interréactions un sujet de méditations particulièrement excitant pour l'esprit humain, non seulement du neurophysiologiste, mais même de tout homme de science, c'est entre autre pour cela que l'on ne saurait consacrer une conférence au « cerveau, carrefour de méthodes et de sciences » sans au moins rappeler les efforts de certains mathématiciens qui, dans d'intéressantes spéculations, ont tenté d'appliquer au mécanisme des centres nerveux certaines méthodes de raisonnement et des conceptions empruntées à la haute physique mathématique, aux théories les plus récentes de l'information, en un mot à la cybernétique.

Si, comme le disait Flaubert, « traiter de l'âme avec l'impartialité que l'on met dans les sciences physiques à étudier la matière, est le seul moyen pour l'humanité de se mettre un peu au-dessus d'elle-même », si l'on pense avec cet auteur que « cela est faisable et que c'est peut-être comme pour les mathématiques rien qu'une méthode à trouver », nous serons amenés au terme de cette conférence à considérer que le célèbre romancier péchait par excès d'optimisme, cet optimisme propre aux hommes de la fin du XIX[e] siècle, que les progrès surprenants des sciences expérimentales avaient suscité.

L'étude du cerveau n'a pas à trouver une méthode unique, mais à utiliser une quantité de méthodes, et les résultats fragmentaires que chacune d'elle est susceptible de nous fournir doivent être sans cesse confrontés les uns aux autres. Ce n'est que par ce procédé que nous pourrons être amenés à éclaircir peu à peu l'infinie complexité des mécanismes cérébraux, complexité bien mise en évidence par une comparaison du physiologiste et mathématicien Mac Culloch, faisant un jour remarquer que si l'on voulait construire une machine, un robot électronique susceptible d'accomplir toutes les performances du cerveau humain, il faudrait toute l'énergie électrique produite par la chute du Niagara pour le faire fonctionner et toute l'eau de la chute pour le refroidir. Si l'on songe à l'infime quantité d'énergie que consomme notre cerveau et ses faibles dimensions, nous devons convenir que nous sommes encore loin d'avoir percé tous les secrets de son fonctionnement. D'ailleurs quand bien même parviendrions-nous à construire ce cerveau-robot, il ignorerait toujours la joie de connaître et fermés lui resteraient le monde du bien et de la beauté.

P. LAGET.

ÉCHOS ET NOUVELLES (suite)

● *Une explosion nucléaire peut-elle provoquer l'explosion de la Terre ?* — Le professeur M.-H.-L. Pryce, de l'Université de Bristol, nous donne dans la revue anglaise « Discovery » des assurances rassurantes quant aux conséquences d'une explosion nucléaire (même très importante) sur l'existence même de la Terre. Le professeur Pryce estime qu'il n'est pas à craindre que le processus de « fission » réalisé dans une bombe à hydrogène ne provoque la « fusion » des matériaux de l'écorce terrestre et en particulier de l'hydrogène. Il insiste sur la différence entre les processus de « fusion » de l'hydrogène qui se réalisent spontanément dans les étoiles et ceux que l'homme réalise artificiellement. La « fusion » des atomes d'hydrogène qui se produit dans le soleil constitue une réaction très lente ; la force d'attraction gravitationnelle d'une étoile, telle que le soleil, est colossale et maintient des pressions énormes pendant la réaction. Au contraire, sur la Terre, les atomes d'hydrogène sont relativement très éloignés les uns des autres et, même au centre de la Terre, la pression serait bien trop faible pour qu'ils puissent rester en contact pendant un temps suffisamment long pour provoquer les réactions de « fusion » entraînant la disparition de la Terre.

● *Propriétés psychophysiologiques de certaines molécules organiques.* — Parmi les nombreuses et intéressantes communications qui ont été faites au congrès annuel de l'Association américaine de psychiatrie (Chicago, 1956) et que rapporte « Scientific American », on peut mentionner les suivantes. Des chercheurs de l'Université Tulane ont montré que le sang de certains malades atteints de schizophrénie renferme une protéine susceptible de produire des troubles mentaux lorsqu'on l'injecte à des sujets sains : ces troubles dont la durée est de deux heures, ou bien se manifestent par des hallucinations ou bien rendent le sujet paranoïaque et le font s'imaginer que tout le monde parle de lui. L'auteur de la communication, le Dr R.-D. Heath, émet l'hypothèse que ces troubles peuvent être en relation avec le métabolisme de l'adrénaline, mais la protéine du sang qui en est la cause n'a pas été identifiée.

D'autre part, le Dr H.-D. Fabing, de Cincinnati, a signalé que certains champignons renfermaient une substance susceptible de produire des troubles mentaux. Cette substance active, qu'il a isolée, est la bufotéine analogue à la mescaline et à l'acide lysergique qui sont également la cause de troubles mentaux. A ce propos, le Dr Fabing rappelle qu'il y a un millier d'années et suivant la légende, les guerriers Vikings consommaient avant de se battre un certain champignon à la suite de quoi, pendant le combat, ils devenaient véritablement enragés,

(Suite page 250)

Le Centenaire d'un Grand Chimiste :

J. B. SENDERENS

(1856 - 1937)

par M. MOUSSERON.

Professeur à la Faculté des Sciences,

Directeur de l'Institut de Chimie de l'Université de Montpellier.

Le Chanoine Senderens naquit le 27 janvier 1856, à Barbachen, près de Rabasten-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées), où ses parents étaient agriculteurs ; au cours de ses études secondaires, ses maîtres découvrirent en lui un élève, non seulement studieux, mais aussi avide d'apprendre.

Après de brillantes études au Collège de Garaison, dirigé par les religieux d'une Congrégation Diocésaine, il fut admis au Noviciat et nommé ensuite Professeur au Collège de Sabart, dans l'Ariège ; expérimentateur habile il installe aussitôt un laboratoire et obtient la licence ès sciences physiques.

Désirant compléter ses connaissances scientifiques il entra dans le laboratoire de M. Filhol, à la Faculté des Sciences de Toulouse, où il entreprend quelques travaux d'hydrologie et d'œnologie. Dès 1882 il devenait Professeur à l'Ecole Supérieure des Sciences de l'Institut Catholique de Toulouse, tout en poursuivant sa collaboration avec M. Filhol ; en 1892 il soutint devant la Faculté des Sciences de Toulouse sa thèse de Doctorat ès Physiques.

A la disparition de M. Filhol, il devint le collaborateur de Paul Sabatier qui venait d'être nommé Professeur. Ses premières recherches avec le maître toulousain portent sur la Chimie Minérale et plus spécialement sur les combinaisons de certains métaux avec des carbures insaturés, notamment l'éthylène : la réaction est très vive en opérant vers 300° C ; l'hydrogène provenant de la pyrolyse vient se fixer sur l'excès d'éthylène et l'éthane prend naissance ; la première hydrogénation catalytique vient d'être réalisée.

De nombreux mémoires furent publiés de 1897 à 1906 à l'Académie des Sciences, au Bulletin de la Société Chimique, aux Annales de Chimie et Physique en collaboration avec P. Sabatier. Ils concernent l'hydrogénation catalytique sur nickel divisé de toute une série de composés : carbures éthyléniques, acétyléniques, aromatiques, dérivés nitrés, dérivés carbonylés, phénols...

Grâce à ces auteurs l'étude de la Chimie du cyclohexane devenait accessible, car jusqu'à cette époque seuls les pétroles russes renfermaient ce composé. La réaction d'hydrogénation de

Sabatier et de Senderens marque certainement une époque décisive à la fois dans l'ordre théorique et synthétique.

Son exploitation dans l'industrie a permis de développer des recherches d'un intérêt considérable. Au point de vue théorique l'action des catalyseurs d'hydrogénation permettait de conduire à des réactions nouvelles et tout particulièrement dans l'utilisation de nombreux métaux en catalyse.

En 1905, l'Académie des Sciences récompensait à la fois Sabatier et Senderens par l'attribution du prix Jecker. Le rapporteur A. Haller pouvait écrire : « La mise au point de leurs méthodes, leur vérification sur les corps les plus variés, l'analyse rigoureuse et la caractérisation des produits obtenus ont nécessité un labeur continu et ininterrompu de près de huit ans. Aussi en raison des très beaux résultats obtenus et par suite du caractère de généralité et de la fécondité que présentent les procédés qu'ils ont généreusement mis à la portée des chimistes, la Commission a-t-elle décidé à l'unanimité d'accorder le prix Jeiker à MM. Sabatier et Senderens. »

En 1912, le prix Nobel de Chimie fut partagé entre deux savants français, Paul Sabatier et Victor Grignard ; comme l'indique le Chanoine Palfray, il aurait été souhaitable que Senderens obtint également avec Sabatier cette haute distinction ; nous nous devons de rapporter le jugement de V. Grignard en 1936 : « La récompense suédoise aurait dû d'abord être donnée à Sabatier et Senderens, puis plus tard c'eut été mon tour de la partager avec Barbier. »

M. Senderens étudia ensuite, soit seul, soit avec M. Aboulenc, divers problèmes et plus spécialement la déshydratation des alcools. Ces recherches sont aujourd'hui classiques ; de nombreux catalyseurs de déshydratation ont été envisagés et ont permis la préparation des éthers ou des carbures éthyléniques. Une étude systématique a permis de distinguer les actions différentes de la thorine, de la zircone, des oxydes d'uranium. Le problème a été largement fouillé et de nombreux exposés concernent ces agents de déshydratation, considérés aujourd'hui comme des acides.

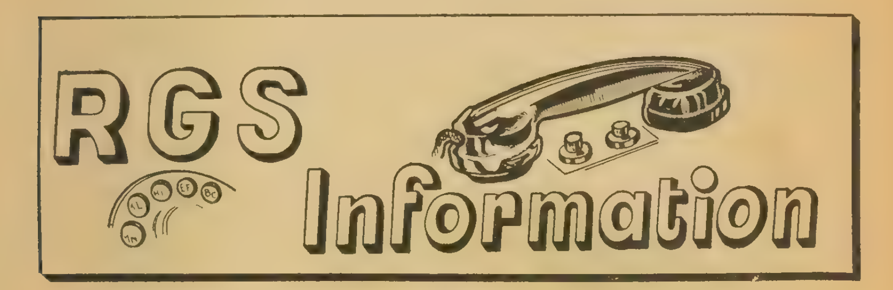
Le domaine de l'éthérification et de l'estérification a été largement développé et de nombreuses applications industrielles ont pu être réalisées à partir de ces données.

Jusqu'à la fin de sa vie et avec l'aide d'industriels, plus particulièrement de M. Poulenc, il continua à développer ses recherches. Il se retira à Barbachen où il travailla jusqu'à sa mort en 1936 ; comme l'a indiqué G. Urbain : « Nul n'avait su mieux organiser sa vie conformément à ses croyances et à ses goûts, vie calme et transparente, où il n'y avait d'autre souci que de bien faire et de faire du bien. »

Diverses Académies ou Sociétés l'avaient associé à leurs travaux et de nombreuses distinctions sont venues naturellement à ce savant sans ambition.

La découverte de Sabatier et de Senderens constitue l'une des bases essentielles grâce auxquelles progresse la Chimie pure et appliquée. Pour nous les noms de Sabatier et de Senderens sont inséparables.

M. MOUSSERON.



NOMINATIONS

Paris (Administration centrale). — M. DONZELOT, Directeur général de l'Enseignement Supérieur, représentant permanent des Universités françaises aux Etats-Unis, est nommé Directeur de l'Equipement universitaire, scolaire et sportif (nouvelle direction).

Paris (Faculté des Sciences). — M. Frédéric JOLIOT, Professeur au Collège de France, est nommé titulaire de la chaire de Physique nucléaire et radioactivité (dernier titulaire : Mme Joliot-Curie).

M. LUCAS (René), Professeur à titre personnel, est nommé dans la chaire de Recherches physiques (dernier titulaire : M. Cabannes).

MM. BERNARD, BUVAT, EHRESMANN, GLANGEAUD, GODEMENT, PISOT, TERMIER et ZAMANSKY sont nommés Professeurs à titre personnel.

M. HALBAN, Fellow à Saint Antony's College (Université d'Oxford), est nommé Professeur associé.

M. BOUIX est nommé Chef de Travaux de Mathématiques.

Paris (Faculté de Pharmacie). — MM. TRUHAUT et MORETTE sont nommés professeurs à titre personnel.

Paris (Muséum). — M. LEHMAN, Chef de Travaux à la Sorbonne, est nommé titulaire de la chaire de Paléontologie.

M. Nouvel (Jacques) est nommé titulaire de la chaire d'Ethologie des animaux sauvages.

M. Raymond Furon a été élu Membre de l'Académie des Sciences coloniales.

Bordeaux. — M. Colmez est nommé Professeur à titre personnel.

M. Masquelier, Maître de Conférences à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, est nommé dans la chaire de Matière médicale.

Caen. — M. Pitot, Professeur titulaire à titre personnel à Bordeaux, détaché à Dakar, est transféré dans la chaire de Botanique (dernier titulaire : M. Moreau).

Mme Walter-Levy est nommée Professeur à titre personnel.

Grenoble. — M. Angles d'Auriac est nommé Professeur associé à la Faculté des Sciences.

MM. Boucher, Bonnier et Moussiegt sont nommés Maîtres de Conférences de Physique nucléaire, de Chimie et d'Electronique.

Lille. — M. Bonneman, Maître de Conférences, est nommé dans la chaire de Chimie et Physico-Chimie industrielles.

M. Delattre est nommé Maître de Conférences de Géologie.

Marseille. — M. Guillemonat, Professeur de Chimie MPC, est transféré dans la chaire de Chimie industrielle.

Mlle Chandebois est nommée Chef de Travaux de Zoologie.

Montpellier. — M. Chatelain, Professeur à titre personnel, est nommé dans la chaire de Minéralogie et Cristallographie.

M. Couchet (Gérard), Maître de Conférences, est nommé dans la chaire de Mécanique rationnelle.

M. Avias, Maître de Conférences à Nancy, est nommé Maître de Conférences de Géologie.

Nancy. — M. Legras, Maître de Conférences, est nommé dans la chaire de Mécanique rationnelle.

M. Hervé, Maître de Conférences, est nommé dans la chaire de Calcul différentiel et intégral.

M. Chapelle, Professeur sans chaire, est nommé dans la chaire de Physique (dernier titulaire : M. de Mallemann).

M. Bizette, Professeur à titre personnel, est nommé dans la chaire de Physique générale.

Rennes. — M. Villeret est nommé Maître de Conférences de Botanique.

Strasbourg. — M. CUER est nommé Professeur à titre personnel.

M. VIAUD, Professeur à titre personnel, est nommé dans la chaire de Psychophysiologie.

M. BYE, Professeur à titre personnel, est transféré dans la chaire de Chimie minérale et Chimie physique.

M. OURISSON (Guy) est nommé Maître de Conférences de Chimie appliquée et PCB.

Toulouse. — M. DURAND (Emile) est nommé à nouveau Doyen de la Faculté des Sciences.

M. MARQUER est nommé Professeur à titre personnel.

CONGRÈS ET RÉUNIONS SCIENTIFIQUES

En novembre, se tiendra aux Indes, la **XIVe conférence de l'Union internationale contre la Tuberculose.**

Le Xe Congrès international biennal du Collège international des Chirurgiens se tiendra à Buenos Aires du 19 au 24 novembre. (Renseignements : Pr. Max Thorek, 850 West Irving Park Road, Chicago 13.)

En novembre également, à Palmerston (Nouvelle Zélande), **VIIe Congrès international sur les Prairies.**

En décembre signalons, à Bombay, un Congrès sur les **« Phénomènes nucléaires de grande énergie dans le rayonnement cosmique »** et, à Cambridge, un **Symposium international de Bactériologie alimentaire.** (Renseignements auprès du Président du Comité permanent : Dr. R. Buttiaux, 20, bd Louis-XIV, à Lille.)

Echos & Nouvelles

hurlaient comme des loups et, entre autres, mordaient le bord de leurs boucliers.

● *Le glissement des skis sur la neige.* — Le Dr F.-P. Bowden, directeur du laboratoire de recherches sur la physique et la chimie des surfaces à l'Université de Cambridge (Grande-Bretagne), a étudié la physique des skis et la cause de leur glissement sur la neige. Les résultats de ces recherches ont été récemment publiés dans la revue anglaise « Nature ». Le glissement des skis est essentiellement dû à la chaleur dégagée par leur frottement sur la neige. Au départ les skis collent à la neige, mais dès qu'ils sont en mouvement la chaleur dégagée par le frottement fait fondre une très légère couche de neige (même sur des surfaces glacées) ce qui permet le glissement. En « fartant » les skis on diminue le frottement avec le film d'eau et le ski est rendu hydrophobe. En utilisant le polytétrafluoro éthylène (qui est une « matière plastique ») les propriétés hydrophobes de la surface des skis sont bien plus importantes encore, ce qui permet de réaliser des vitesses nettement plus élevées.

● *Le Sélénium.* — Dans le bulletin n° 556 du Bureau des Mines de Washington, J.-D. Sargent présente une intéressante étude sur le sélénium, connu depuis 1817, mais qui pendant un siècle a été considéré comme un élément sans aucune utilité pratique, et même dont la présence dans les produits industriels n'avait que des inconvénients. Pendant la première guerre mondiale on l'utilisait pour augmenter la transparence de certains verres. Après la dernière guerre, son principal usage a été la réalisation de redresseurs de courant alternatif, dans des industries et applications extrêmement variées. Sa conductivité photoélectrique est aussi utilisée dans divers domaines. Sous forme de composés divers il est employé comme oxydant, comme catalyseur (hydrogénation, déshydrogénation, cracking, synthèse de la cortisone et de l'acide isonicotinique), comme insecticide, bactéricide, etc.

Cet élément, à la fois métal et métalloïde, conducteur et semi-conducteur, amorphe ou cristallin, est considéré comme un des matériaux stratégiques dont la production est insuffisante. En Amérique le Mexique est le producteur principal, mais on en extrait aussi au Canada. On cherche actuellement à augmenter le taux de récupération du sélénium dans diverses industries.

Mais malgré l'utilisation de plus en plus importante de produits de substitution, la demande dépassera la production jusqu'en 1957. On espère cependant que, dans trois ou quatre ans, la production sera en progrès grâce à de nouveaux procédés de récupération étudiés actuellement dans les laboratoires. Actuellement, la quantité de sélénium mise sur le marché est fonction de la production du cuivre.

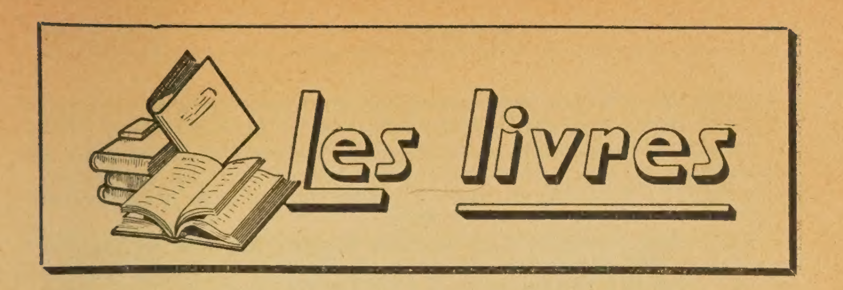
● *Création d'une industrie chimique au Venezuela.* — La revue américaine « Chemical and Engeneering News » rapporte que le Venezuela est en train de créer un ensemble industriel considérable à Moron, près de Caracas, et qui, construit par la « Petroquimica Nacional », sera sans doute le plus important de toute l'Amérique du Sud. Il est destiné à produire de l'ammoniac, de l'acide azotique, du nitrate d'ammonium, du sulfate d'ammonium, des engrais et des explosifs. Actuellement, une première usine a une production de soixante tonnes par jour d'engrais, obtenus simplement par mélange d'engrais d'importation. Mais jusqu'à présent l'agriculture du Venezuela n'utilisait que très peu d'engrais et il est nécessaire de faire, à ce point de vue, l'éducation des agriculteurs, de manière à augmenter les rendements de l'agriculture en utilisant la production croissante des nouvelles usines.

●*Une « Nova » artificielle.* — La revue « Scientific american » nous apprend que le 14 mars 1956 on a pu voir, au milieu de la nuit, à 2 heures, dans le ciel du Nouveau-Mexique, aux Etats-Unis, un grand disque brillant dont le diamètre apparent était quatre fois celui de la Lune et la brillance sensiblement égale à la moitié de celle de notre satellite. Ce phénomène s'est atténué progressivement et avait complètement disparu au matin. Cette *nova* temporaire avait été créée par un projectile destiné à libérer dans l'ionosphère une charge d'oxyde azotique comprimé de 9 kg. A l'altitude de 95 km, l'oxyde azotique catalyse la réaction de combinaison des atomes d'oxygène en molécules, réaction dégageant une quantité considérable d'énergie sous forme de lumière. Cette expérience reproduisait, à grande échelle, des expériences de laboratoire réalisées par les scientifiques de l'aviation américaine sous la direction du chimiste Murray Zelikoff. Elle confirme que l'ionosphère contient suffisamment d'énergie chimique susceptible d'être utilisée pour alimenter des roquettes sans combustible propre.

● *Travaux et publications scientifiques perdus.* — Le botaniste norvégien Knut Faegri a compulsé les références bibliographiques citées dans les mémoires parus dans diverses « revues botaniques » d'Allemagne, des Etats-Unis, de France, de Grande-Bretagne, de Russie, et des Pays Scandinaves. Ce sont les mémoires rédigés en anglais et en allemand qui, de loin, sont les plus fréquemment cités (80 %), sauf dans les revues françaises (56 %) et russes (26 %). Ce sont les anglais et les américains

qui se cantonnent le plus dans leur propre langue (84 % et 78 % de leurs références, respectivement, sont des publications en langue anglaise). Viennent immédiatement après les russes dont 73 % de leurs références sont des mémoires russes et 27 % proviennent des pays occidentaux. Mais seuls l'Allemagne et les Pays Scandinaves citent des références russes (0,5 % et 1 %, respectivement). Si l'on compare les références bibliographiques des auteurs allemands, américains, anglais, français et russes ce sont les français qui citent le plus souvent des articles écrits dans une langue qui n'est pas la leur. Ainsi les auteurs d'articles parus dans les périodiques français examinés (Annales des sciences naturelles, série botanique ; Revue générale de botanique) ne donnent que 42 % de références françaises, les autres étant en anglais (42 %), allemand (14 %), et langues diverses (2 %). Les allemands, américains, anglais et russes citent, par contre, davantage d'articles écrits non seulement dans leur propre langue que dans aucune des autres langues, mais même que dans toutes les autres langues réunies. Faegri fait observer que, tout en n'étant pas nouveau, cet état de choses n'en est pas moins déplorable. Il estime qu'un cerveau susceptible de faire des travaux scientifiques devrait être capable d'apprendre au moins une autre langue que la sienne. Quoiqu'il en soit on arrive à la conclusion que toute publication dans une langue autre que l'anglais ou l'allemand a de fortes chances de passer inaperçue. Les résultats précédents ne concernant que les publication de botanique, il serait intéressant de faire des études analogues pour d'autres disciplines scientifiques (mathématiques, physique, chimie, etc.). Il est d'ailleurs bien possible que les résultats n'en soient pas très différents. De plus, il faudrait les comparer (et cette remarque est bien entendu valable aussi pour la botanique) au nombre total de publications parues dans chaque pays pour chacune des disciplines.

● *La mémoire de l'éléphant.* — Il est banal de faire allusion à la mémoire de l'éléphant. Ce sont les résultats de ses recherches sur cette question que B. Rensch, de l'Université de Münster, rapporte dans un article paru dans « The American Naturalist ». Avec un de ses collègues, ce savant allemand a dressé un jeune éléphant des Indes à faire un choix parmi des tableaux peints de couleurs différentes. Alors que certains de ceux-ci ne différaient que fort peu (par exemple par la largeur des bandes colorées), le jeune éléphant parvenait très bien à les distinguer les uns des autres. Par contre des animaux tels que des souris, des rats, des poulets apprennent beaucoup plus difficilement et ont une mémoire bien plus faible. Rensch pense qu'il faut attribuer ces résultats aux plus grandes dimensions des cerveaux des gros animaux qui, pour cette raison, renferment un plus grand nombre de cellules nerveuses susceptibles d'un processus plus complexe et mieux organisé.



AUDUBERT (René). — Des précipités colloïdaux aux macromolécules. — (1 vol. 12 × 18,5 cm, 175 pages, collection « La Science vivante », Presses Universitaires de France, Paris, 1956, 700 francs).

Le professeur R. Audubert nous propose un nouveau livre, traitant des systèmes dispersés. Comme on le voit le problème est très vaste. Le but cherché par l'auteur, ainsi qu'il le dit dans l'avant-propos, consiste à « montrer la notion de continuité qui s'étend des précipités à grains visibles à l'œil nu jusqu'aux hauts polymères, en passant par les suspensions microscopiques ou ultramicroscopiques ».

Le chapitre premier traite en 19 pages des propriétés générales des systèmes dispersés. Les définitions des différentes notions qui sont à la base de cette partie si intéressante de la chimie y sont très clairement exposées.

Le chapitre II (38 pages) est institulé : stabilité des systèmes dispersés. Après avoir donné une définition de la stabilité, l'auteur étudie le cas des systèmes conducteurs, puis celui des systèmes non conducteurs. Le rôle des films protecteurs dans l'équilibre des émulsions est discuté. Un paragraphe spécial est réservé à la stabilité des aérosols

Les différentes méthodes de préparation des systèmes sont abordées dans le chapitre III (10 pages).

Le chapitre IV (15 pages) traite de l'origine de la charge électrique des granules. Le chapitre V est intitulé « Mesure de la mobilité des granules. Electrophorèse ». Il est suivi de la théorie électrochimique des systèmes dispersés qui constitue le chapitre VI (26 pages). Enfin stabilité, charge et floculation font l'objet du dernier chapitre (23 pages).

Marc LAFFITTE.

E. BAUER. — Champs de Vecteurs et de Tenseurs. Introduction à l'électromagnétisme. — Un vol. 204 p., 38 fig., (17 × 26), Paris, 1955, Masson et Cie, édit. Prix : 2.200 francs.

Dans cet ouvrage, M. Edmond Bauer expose d'une façon particulièrement claire et simple les éléments de la théorie du calcul tensoriel et son application à l'étude de l'électromagnétisme.

Après avoir introduit les notions de vecteur et de tenseur puis exposé d'une façon détaillée et concrète les règles des calculs vectoriel et tensoriel, M. Bauer développe l'analyse tensorielle appliquée aux champs de vecteurs et de tenseurs, puis à partir de l'étude des champs newtoniens et laplaciens, établit les équations fondamentales de la théorie du potentiel, de la théorie des tourbillons et de l'Electromagnétisme classique. Les tenseurs sont ensuite étudiés dans une théorie mathématique plus générale afin de préparer à leur emploi en relativité restreinte et en relativité générale. Le formalisme tensoriel permet d'établir dans un dernier chapitre un exposé d'ensemble de la théorie du champ électromagnétique. Deux notes complémentaires sont consacrées l'une à l'étude de la définition de l'aimantation, l'autre à l'intégration de l'équation des potentiels et à l'introduction des potentiels retardés.

G. PETIAU.

J. R. CARSON. — Electric circuit theory and operational Calculus. — 2e édition, 197 pages, 31 figures, Chelsea Publishing Company, New York, 1953.

Cette seconde édition du célèbre ouvrage de J. R. Carson, consacré à la justification du Calcul opérationnel d'Heaviside ainsi qu'aux applications de ce dernier à la théorie du circuit électrique, ne diffère de la publication initiale que par des corrections de détail.

Après avoir rassemblé dans les deux premiers chapitres les résultats essentiels relatifs aux réseaux électriques linéaires, J. R. Carson consacre les trois suivants à l'exposition de ses travaux personnels qui l'on conduit à prendre pour base de l'Analyse symbolique la transformation de Laplace; les six derniers chapitres sont consacrés aux applications de la méthode opérationnelle à l'étude de la propagation le long des lignes et des filtres électriques.

M. PARODI.

R. CORNUBERT. — Dictionnaire chimique allemand-français. — Un vol. XVI-236 pages 16 × 25 cm, Dunod édit., Paris, 1956. Broché : 1.660 fr.

Ce dictionnaire est destiné à tous les chimistes se trouvant dans la nécessité de lire les textes publiés dans les revues ou périodiques de la langue allemande. Il concerne le vocabulaire général de la chimie pure et fait face aussi aux éléments des sciences voisines, la physique, la physico-chimie et la biochimie. Il rendra donc de grands services à un nombre important de lecteurs et en particulier aux chercheurs des laboratoires universitaires et industriels. On y trouvera non seulement les mots particuliers à la science chimique, mais aussi ceux du langage courant qui reviennent constamment dans les textes chimiques, mais en ne fournissant que les acceptions correspondantes; d'ailleurs des termes courants peuvent avoir une signification spéciale dans le domaine de la chimie. Pour ces mêmes raisons l'auteur s'est intéressé à des notions générales qui valent au-delà du domaine de la chimie, en particulier celles de grandeur, mesure, erreur, précision des mesures, difficulté, dépendance, fonction, quantité, temps, rendement, accroissement, etc. On ne voit pas comment il aurait été possible de mieux concevoir un tel ouvrage qui est, d'autre part, parfaitement présenté et très aisé à consulter.

P. LAFFITTE.

F. GONSETH. — La géométrie et le problème de l'espace, t. VI. Le problème de l'espace. — 160 pages 16 × 25, Paris, Dunod, 1956. Prix : 950 francs.

Mentionnés ici, les précédents fascicules de cet ouvrage important ont suscité un vif intérêt. L'auteur termine son étude en initiant, par les modèles de Cayley-Klein, aux géométries non euclidiennes subordonnées à la géométrie projective.

A cette fin, il prend appui sur **l'axiomatique**, préparée au t. V, méthode à laquelle il avait abouti par une analyse minutieusement déroulée à partir du stade expérimental.

La voie suivie a une grande valeur éducative : car elle est conforme à la ligne des processus qui, prolongeant la géométrie élémentaire, ont assuré la pleine intelligence de ces questions. Cette réussite, dans un chapitre aussi profondément traité, ne manquera pas de se transmettre à maint autre, dans toutes les Sciences théoriques.

G. BOULIGAND.

A. MONJALLON. — Initiation au calcul matriciel. — Un volume, 127 pages, Vuibert, Paris, 1955.

Dans cet utile ouvrage,, l'auteur présente, sous une forme volontairement simple, les éléments de l'Algèbre des matrices que l'on vient d'intro-

duire dans les programmes de Mathématiques spéciales. L'accent est surtout mis sur le côté pratique de la méthode matricielle et de nombreux exemples numériques permettent au lecteur de bien assimiler la théorie.

M. PARODI.

Centre Belge de Recherches mathématiques. — Colloque sur l'analyse statistique tenu à Bruxelles les 15, 16 et 17 décembre 1954. — Un vol., 188 p., G. Thone, Liége, et Masson et Cie, Paris, édit., 1955.

Ce volume rassemble à la suite du texte d'une allocution de M. Godeaux, président du Centre belge de Recherches mathématiques, les communications faites au huitième Colloque tenu à Bruxelles : sur la régression, résultats nouveaux, problèmes non résolus, par G. Darmois ; considérations sur certains processus ponctuels et sur des fonctions aléatoires associées par A. Blanc-Lapierre ; la notion d'« horizon bayesien », par B. de Finetti ; sur les ensembles de confiance généraux et les méthodes dites non-paramétriques, par D. van Dantzig ; exemple d'application des méthodes non-paramétriques et un nouveau test pour l'égalité de plusieurs probabilités, par M.-J. Hemelrijk ; l'analyse statistique des processus stochastiques, par M.-S. Bartlett ; deux notions utiles en statistique mathématique : les ensembles aléatoires bornés en loi et la continuité fortement uniforme en probabilité, par D. Dugné ; sur les jeux stratégiques finis, par E. Franckx ; théorie des jeux sur le carré unité, par P. Gillis et S. Huyberechts ; à propos de la méthode de Daniels pour l'échantillonnage des faisceaux de fibres parallèles, par H. Breny.

G. PETIAU.

La Progenèse : facteurs préconceptionnels du développement de l'enfant. Sous la direction du Professeur R. Turpin, par 34 collaborateurs. — Préface du Professeur R. Delère. **Centre International de l'Enfance. Travaux et documents.** VIII. — Un vol. cartonné (16 × 24,5), de 720 p., 56 fig., Masson et Cie, Paris, 1955. Prix : 3.500 francs.

Le Centre International de l'Enfance avait organisé à Paris, du 8 mars au 5 avril 1954, un cours consacré à la Progenèse, facteurs préconceptionnels du développement de l'enfant. Sous la direction du Professeur Turpin, 34 spécialistes français et étrangers ont établi une vaste synthèse des facteurs qui, dès avant la fécondation, déterminent les caractères du futur être humain.

Dans son introduction, R. Turpin rappelle que les facteurs héréditaires et l'ambiance agissent sur la génération humaine avant et après la fécondation. La première étape est celle de « l'étude du patrimoine héréditaire des progéniteurs éventuels et du retentissement sur les gamètes, sur les organes de reproduction, de l'ambiance, au sens le plus large ». Les facteurs qui interviennent sont des facteurs progénésiques (pro = avant, génésie = génération), des facteurs antérieurs à la fécondation. La seconde étape correspond à l'interaction des facteurs héréditaires de l'individu avec l'ambiance intra puis extra-utérine où il va se développer jusqu'à son achèvement. Les facteurs qui sont en cause sont des facteurs métagénétiques (méta = après, genèse = génération) postérieurs à la formation du zygote. Facteurs pro- et métagénétiques comprennent tous les facteurs du développement, depuis l'élaboration des gamètes jusqu'à l'achèvement de l'individu.

Seule la progenèse a fait l'objet du cours et partant du présent volume.

Il comprend 5 grandes parties :

1°) Les bases biologiques de la progenèse.

Après avoir replacé l'homme dans l'évolution des êtres, les mécanismes de l'hérédité sont rappelés (GRASSÉ et LAMOTTE).

2°) Progenèse et population.

L'évolution du patrimoine héréditaire au sein des populations fait l'objet d'une étude détaillée ainsi que les conséquences des mélanges de population (TESSIER, L'HÉRITIER, SORRE, LÉVI-STRAUSS, GESSAIN, SAUVY).

3°) Progenèse et couple.

Cette partie correspond plus directement à la génétique médicale et à la démographie familiale. Le bilan actuel de nos connaissances sur la part de l'hérédité dans les diverses affections est établi (LYÈNNE, TURPIN, VAN DEN BOSCH, VAN BOGAERT, PENROSE, DUCHÊNE, LAMY, PIGUET, DENOIX, SUTTER, MOLLISON).

4°) Progenèse et individu.

Elle analyse les divers facteurs qui interviennent dans l'édification de l'individu, de son phénotype, l'action des facteurs sur la lignée gamétique, les aptitudes à la fécondation, les traitements de la stérilité, les pratiques anticonceptionnelles, la stérilisation (HALDANE, KLEIN, CHASSAGNE, DEROBERT, DELBANE, DARIC, VARANGOT, THIBAULT, HINGLAIS, GOUYGOU, BAYLE, PALMER).

5°) Les applications sociales de la progenèse.

Après avoir envisagé les problèmes progénésiques devant les conceptions morales et religieuses, ces problèmes sont considérés sous l'angle social : législations progénésiques, limites pratiques des conceptions engéniques, aspects déontologiques de la progenèse en France, perspectives de la progenèse (BOOK, LEROY, LAMY, PIEDELIÈVRE, TURPIN).

Cette mise au point des connaissances actuelles sur le déterminisme préconceptionnel de l'homme permet peut-être de songer à une véritable prophylaxie progénétique, à l'établissement de laquelle doivent participer non seulement les pédiatres et les accoucheurs, mais aussi les généticiens, les démographes, les médecins hygiénistes chargés de la Prévention maternelle et infantile et de la Santé Publique.

A. TÉTRY.

Journées de mécanique des fluides (Marseille, 1952). — Publications scientifiques et techniques du ministère de l'Air, n° 296. Un vol., 331 p., 182 fig., 17 tabl. Paris, 1955.

Ce volume rassemble les textes des communications et discussions présentées au Colloque national de mécanique des fluides tenu à Marseille du 3 au 5 janvier 1952.

Après une préface de M. Joseph Pérès et les textes des allocutions de MM. Choux et Pierre Vernotte, une première partie rassemble une série de rapports sur l'organisation et l'équipement à la date du 1er janvier 1952 des différents instituts français de mécanique des fluides : Grenoble, Lille, Marseille, Paris, Poitiers, Strasbourg, Toulouse. Les recherches réalisées ou en cours dans ces laboratoires sont brièvement indiquées. La seconde partie rassemble les textes de quelques mémoires originaux présentés au Colloque : par R. Thiry, sur le calcul du travail des efforts intérieurs dans un milieu continu en cours de déformation ; par MM. A. Favre, J. Gaviglio et R. Dumas, mesures dans la couche limite des intensités de turbulence et des corrélations dans le temps ; par MM. A. Favre et J. Gaviglio, détection par autocorrélation de signaux périodiques perturbés par des parasites aléatoires ; par Ch. Bory, étude théorique sur la convection thermique par paroi mobile ; par P. Vernotte, un curieux phénomène de turbulence à rebours et de recul de la diffusion ; par R. Timman, la théorie des profils minces en écoulement non stationnaire en fluide incompressible ou compressible.

G. PETIAU.

Imprimerie Jacques et Demontrond, Besançon. — 102460 - 11-56.
Dépôt légal 4e trimestre 1956 : n° 5842. Le Gérant : R. CONSTANS.